



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SVORKY

MANUFACTURING OF CLAMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Petr Svoboda**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba svorky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby svorky pro nástěnný držák. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost svorky,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje a kusovník.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd.
Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

SVOBODA Petr: Výroba svorky.

Bakalářská práce předkládá modernizaci technologického postupu výroby svorky ve firmě FERRUM s.r.o. Díl slouží ke spojení ochranných prvků s výstupovým žebříkem. Součást je vyráběna z plechu o tloušťce 3 mm. Jako výchozí materiál byla zvolena ocel S235JR s následným žárovým zinkováním jako protikorozní úpravou. Z možností výroby byla s ohledem na velikost série 1300 kusů týdně zvolena technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji, kde bude díl vyroben ve třech krocích. V prvním jsou děrovány otvory pro šrouby a dílec je odstříhnut od polotovaru, druhý krok je volný a slouží k posuvu. Ve třetím dojde k ohybu. K výrobě bude zapotřebí tvářecí síla 618 kN, přičemž bude probíhat na výstředníkovém lisu LEN 63 C, nacházejícím se ve strojovém parku firmy.

Klíčová slova: ocel S235JR, sdružený nástroj, stříhání, ohýbání, výstředníkový lis LEN 63 C

ABSTRACT

SVOBODA Petr: Manufacturing of clamp

The bachelor thesis presents the modernization of the technological process of clamp manufacturing in the company FERRUM s.r.o. The part is used to connect the protective elements with the exit ladder. The component is made of 3 mm thick sheet metal. S235JR steel with subsequent hot-dip galvanizing as an anti-corrosion treatment was chosen as the starting material. Regarding to the size of a series of 1300 pieces per week, the shearing and bending technology in the combined tool was chosen from the production possibilities, where the part will be produced in three steps. In the first, holes for the screws are punched and the part is cut from the blank, the second step is free and serves for shift. In the third the part will be bended. A forming force of 618 kN will be required for production, which will take place on an eccentric press LEN 63 C, located in the company's machine park.

Keywords: S235JR steel, combined tool, shearing, bending, eccentric press LEN 63 C

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, Petr. *Výroba svorky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132279>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 21.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Také děkuji firmě FERRUM s.r.o. za možnost její realizace. Dále děkuji panu Ing. Tomáši Břínkovi za cenné rady týkající se konstruování nástroje.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	8
-------------------	----------

1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	9
-----------------------------	----------

1.1 Výrobní možnosti.....	11
---------------------------	----

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	13
---	-----------

2.1 Stříhání	13
--------------------	----

2.1.1 Rozmístění výstřížků a využití materiálu.....	14
---	----

2.2 Ohýbání	15
-------------------	----

2.2.1 Minimální a maximální poloměr ohybu.....	18
--	----

2.3 Síly a práce.....	18
-----------------------	----

2.4 Těžiště sil	20
-----------------------	----

2.5 Nástroje	21
--------------------	----

2.6 Výstředníkové lisy	23
------------------------------	----

2.7 Technologičnost	23
---------------------------	----

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	25
---	-----------

3.1 Rozvinutý tvar.....	26
-------------------------	----

3.2 Výchozí polotovar.....	27
----------------------------	----

3.4 Výrobní postup.....	28
-------------------------	----

3.5 Odpružení.....	29
--------------------	----

3.6 Síly a práce.....	30
-----------------------	----

3.6.1 Poloha těžiště sil.....	33
-------------------------------	----

3.7 Konstrukce nástroje.....	33
------------------------------	----

3.7.1 Návrh pracovních částí nástroje.....	35
--	----

4 ZÁVĚRY.....	36
----------------------	-----------

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

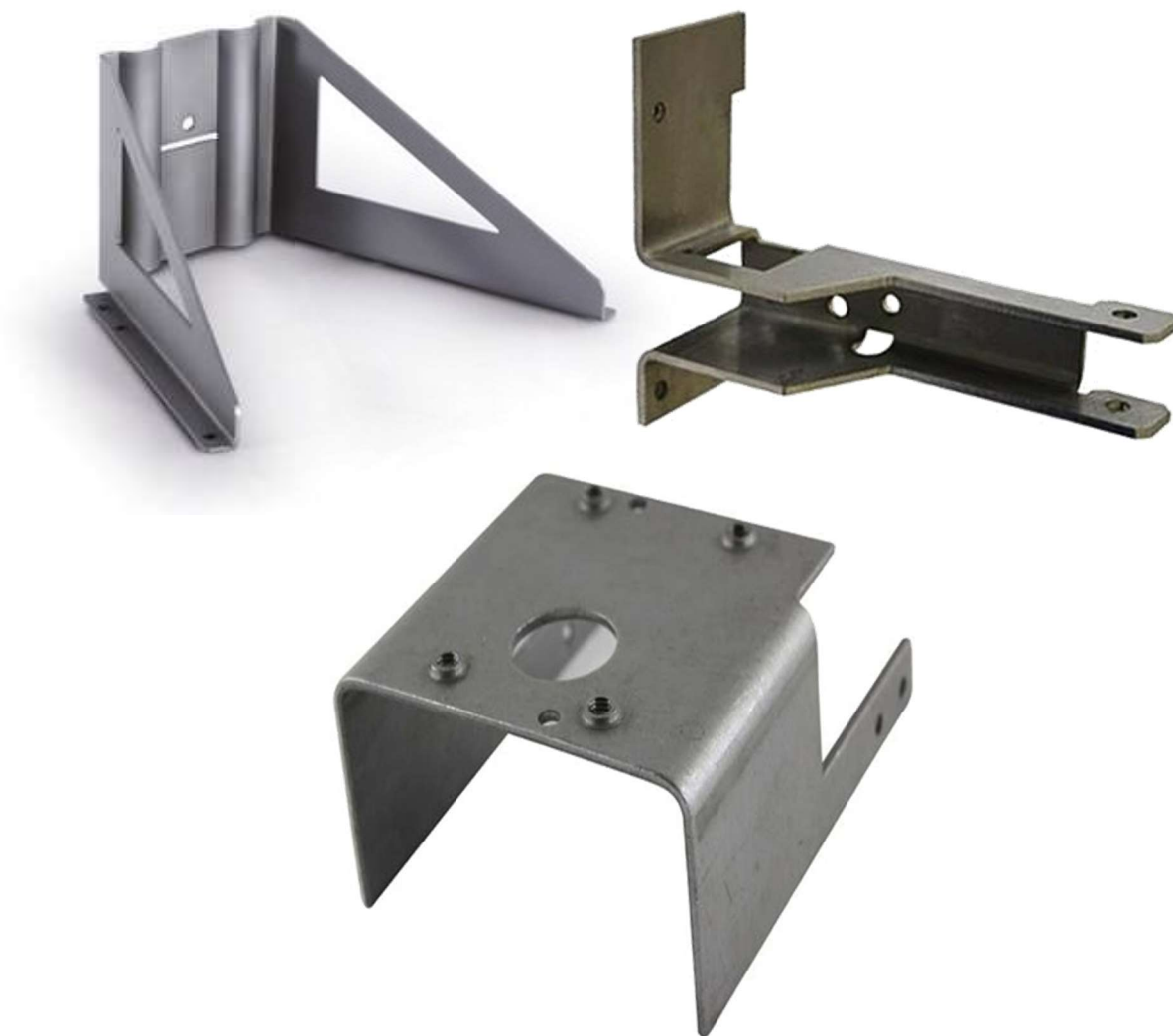
Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Ve strojírenství si lze při výrobě součástí vybrat ze široké škály technologií výroby, od odlévání, přes obrábění až po 3D tisk. Jednou z možností je technologie tváření, při níž dochází ke změně tvaru pomocí vnějších sil bez odběru materiálu. Má ve strojírenství nezastupitelné postavení ve výrobě polotovarů či hotových výrobků, a zároveň je jedna z nejhospodárnějších metod pro maximální využití materiálu a vysokou úsporu energie. Hlavním důvodem volby je velikost série, ekonomičnost a strojní vybavení dané firmy. Kvůli nim jsou na konstruktéry a technology kladeny nemalé požadavky. Tváření lze rozdělit na objemové a plošné.

Plošné zpracovává polotovary z plechů, pásů či svitků, beze změny tloušťky. Deformace zde nastává pouze ve dvou směrech. Jedná se například o technologie ohýbání, stříhání, rovnání apod. Příklady výrobků, jež lze takto zhotovit, jsou na obrázku 1.

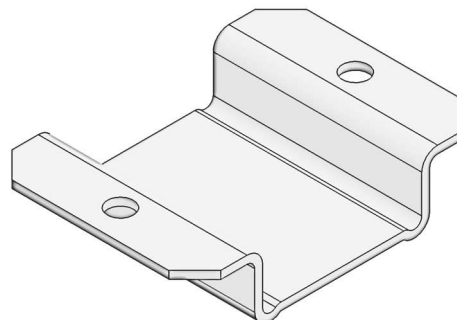


Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením [4], [5]

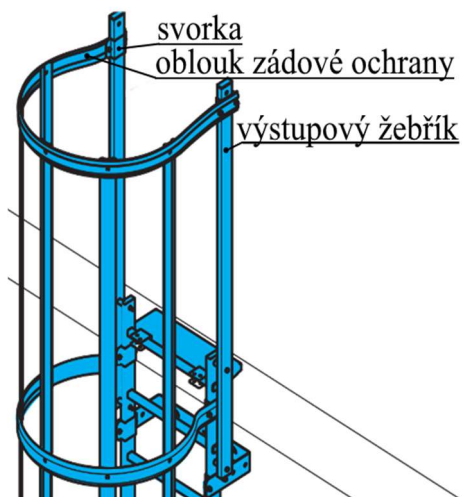
1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [2], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Řešenou součástí je svorka (obr. 2), která slouží ke spojení oblouku zádové ochrany s výstupovým žebříkem, viz obr. 3. Díky tomu, dojde k zabezpečení pohybu a snížení možných příčin pádu. Jednotlivé díly jsou spojeny pomocí šroubů a matic M8 (obr. 4).

Z důvodu venkovního užívání, je nutné zajistit odolnost proti vlivům prostředí, zejména korozi. Nejvhodnější by byla korozivzdorná ocel, avšak z cenových důvodů není nejoptimálnější. Proto byla zvolena ocel S235JR (ČSN 41 1375). Ta bude následně žárově zinkována, neboť i ostatní díly mají stejnou povrchovou úpravu. Jedná se o konstrukční nelegovanou ocel, jenž je ve strojírenství hojně využívána na jednoduché, mírně namáhané součásti, profily, svařované dílce a výrobky z plechu. Mechanické vlastnosti a chemické složení, uvedené v tabulkách 1 a 2, je dáno materiálovým listem v příloze 1.



Obr. 2 Svorka – 3D model



Obr. 3 Výstupový žebřík s přímým vstupem – schéma [10]



Obr. 4 Použití svorky – detail

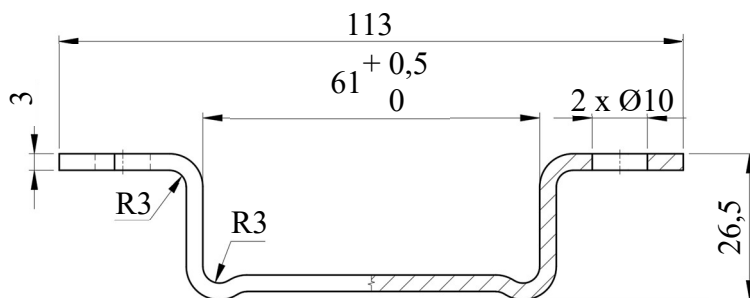
Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli S235JR [9].

Mechanické vlastnosti		
Mez kluzu R_e [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A [%]
335	430	39,3

Tab. 2 Chemické složení oceli S235JR [9].

Chemické složení											
Prvek	C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
Obsah [%]	0,07	0,74	0,017	0,017	0,012	0,004	0,10	0,05	0,07	0,01	0,054

Součást prostorového tvaru (obr. 2) je vyrobena z plechu o tloušťce 3 mm. Ohybem vznikne mezerka o šířce 61 mm, viz obr. 5. Její velikost je tolerována v hodnotě $+0,5$ mm, aby do ní bylo možné vložit žebřík tvořený jeklem o rozměrech 60 x 20 mm, který je vyráběný v různých délkách. V ramenech jsou otvory o průměru 10 mm umožňující spojení s ostatními součástmi.



Obr. 5 Rozměry součásti

Výroba svorky, je návrhem na modernizaci stávajícího technologického postupu ve firmě FERRUM s.r.o., se sídlem v obci Moravské Budějovice, s předmětem podnikání od strojírenské výroby přes výkup kovošrotu a ekologickou likvidaci autovraků, až po autodopravu, práce autojeřábem či výrobu pívnických setů.

Součást je aktuálně vyráběna pomocí dvou operací, ve dvou různých výrobních závodech, v sérii přibližně 1300 kusů týdně. Vzhledem k současné světové ekonomické situaci a snižujícímu se počtu zaměstnanců, vedení firmy navrhlo modernizaci výrobního postupu pro celou výrobu v jediném závodě. Tím dojde ke snížení výrobního času, nákladů na mzdy a odpadne nutnost převozu. V aktuálním stavu je výrobní postup následující:

- Vyrobení rozvinu laserovým řezáním – probíhá na vláknovém laseru Adige-SYS LT COMBO FIBRE (obr. 6), kde se díky přívodu vysoce koncentrované energie laserového svazku do místa řezu prudce zvedá teplota až do teploty varu. Materiál je v úzkém okolí nataven, a poté je za pomoci asistenčního plynu (dusíku) přiváděného do místa řezu, okolo laserového svazku vyfouknut. Dle stávajících technických podmínek v uváděné firmě, je metoda vhodná k dělení všech technických materiálů až do tlouštěk 3 mm, s přesností $\pm 0,1$ mm. Mezi výhody patří kovově lesklý povrch, téměř žádná struska a přesnost. Nevýhodou je potřeba zásobníku s asistenčním plynem, tepelné ovlivnění součásti a nutnost aplikace povrchové úpravy až po řezání.



Obr. 6 Adige-SYS LT COMBO FIBRE

- Ohyb v nástroji – probíhá na výstředníkovém lisu LEN 63 C. Nejprve dojde k umístění rozvinu do jednoúčelového ohybového nástroje mezi dorazy (obr. 7). Poté dojde k posunu ohybníku do ohybnice, což vytvoří trvalou deformaci podle jejich tvaru. Kvůli jednoduchosti ohybového nástroje, je nutné každý díl ručně založit i vyjmout, což je při sérii 1300 kusů týdně časově náročné.



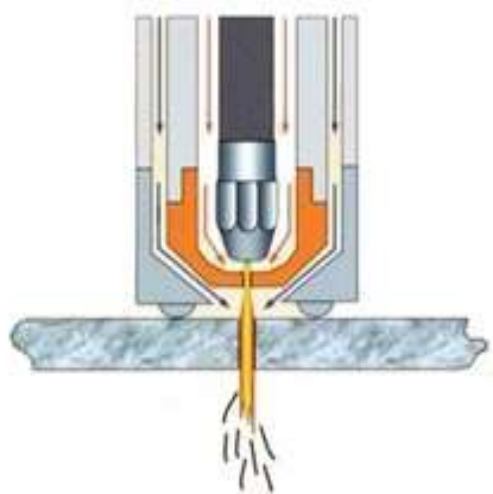
Obr. 7 Současný ohybový nástroj

1.1 Výrobní možnosti [1], [2], [3], [4], [11], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]

Strojový park firmy obsahuje CNC plazmu, CNC laser, CNC hydraulický ohraňovací lis, CNC hydraulické tabulové nůžky a výstředníkové lisy. Vzhledem k tomu, že se jedná o firemní zadání, byly brány v potaz pouze metody realizovatelné na těchto strojích. Není možné uvažovat metody, které by zahrnovaly nákup nových strojů, neboť výstavba dalších provozoven na pozemku areálu firmy nelze uskutečnit z důvodu omezeného prostoru. Avšak lze uvažovat o metodách, jež by vznikly pomocí kooperace s ostatními strojírenskými firmami v obci. Dále je nutné zohlednit efektivnost, ekonomičnost a technologičnost navrhovaných metod. Mezi technologie výroby, pomocí kterých lze součást vyrobit, patří:

- Řezání plazmovým paprskem a ohyb na ohraňovacím lise – řezání probíhá díky vytvoření elektrického oblouku stabilizovaného procesním plazmovým plynem mezi netavící se wolframovou elektrodou a řezaným materiálem (obr. 8). Díky tomu lze řezat všechny kovové a elektricky vodivé materiály až do tloušťek 300 mm. Plazmový paprsek o vysoké teplotě vystupuje z trysky vysokou rychlostí. Tím dojde k vyfouknutí natavené látky z místa řezu. Hlavní výhodou je malá přepravní vzdálenost (stroj se nachází ve vedlejší výrobní hale vzdálené přibližně 20 m). K nevýhodám patří nutnost aplikace povrchové úpravy až po řezání, velká tepelně ovlivněná oblast a velký opal.

Po vyřezání rozvinu plazmovým paprskem, by byly potřebné ohyby vytvořeny na ohraňovacím lisu. Ohraňování lze definovat jako volný ohyb osamělou silou, která vyvolá v místě ohybu napětí větší než mez kluzu materiálu, čímž dojde k ohybu ve tvaru ohybnice. Ačkoliv firma disponuje dusíkovou plazmou i hydraulickým ohraňovacím lisem Trumpf TruBend 5320 (obr. 9), není tato metoda vhodná, protože dusíková plazma je určena k řezání a dělení polotovarů velkých tloušťek s velkými otvory, nikoli tenkých plechů, ve kterých se nachází malé díry, a ohraňovací lis je provozován ve dvousměnném režimu, zatímco na ostatní stroje směňování aplikováno není.

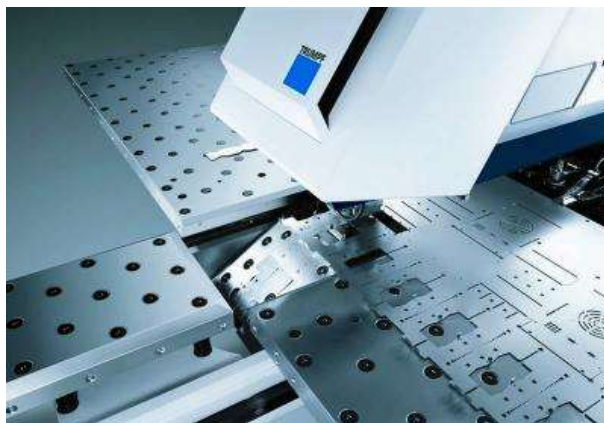


Obr. 8 Řezání plazmovým paprskem [16]



Obr. 9 Trumpf TruBend 5320 [18]

- Vysekávání a ohyb ve stávajícím nástroji – podstata vysekávání na vysekávacích automatech (obr. 10) spočívá v postupném oddělování výchozího materiálu ve formě tabule plechu. To probíhá pomocí střížníků upnutých v revolverové vysekávací hlavě, které požadovaný obrys postupně vystřihují. Aby bylo dosaženo co nejvyšší přesnosti a produktivity využívá se CNC řízení. Díky hydraulickému ovládání je možné vysekávat plechy až do tlouštěk 8 mm. Mezi výhody patří vysoká produktivita, jednoduchost a flexibilita nástrojového systému a možnost vysekávání plechu již pozinkovaného. Nevýhodou však je absence stroje. Po vysekání rozvinu součásti, by opět došlo k ohybu ve stávajícím nástroji (obr. 7). Ačkoliv je metoda k výrobě rozvinu vhodná, firma strojem nedisponuje. Sice lze zajistit kooperaci, ale bohužel by opět nastaly problémy s převozem, proto není technologie vhodná.



Obr. 10 Vysekávací automat [21]

- Stříhání a ohýbání ve stávajícím nástroji – stříhání je jedna z nejpoužívanějších technologií zpracování plechů ve strojírenství. Podstata spočívá v oddělování materiálu pomocí protilehlých břitů střížníku a střížnice. Rozvin by byl vystřižnut v postupovém nástroji (obr. 11) a následně by došlo k jeho ohybu ve stávajícím ohybovém nástroji (obr. 7). Výhodou je vysoká produktivita. Nevýhodou však je nutnost použití dvou technologií a přeprava výstřižků. V minulosti již tato metoda byla využívána. Vedením firmy bylo však rozhodnuto ke změně na současný technologický postup, po předložení cenové nabídky obchodním zástupcem z oddělení laseru, kvůli nezanedbatelné časové a finanční úspoře.



Obr. 11 Postupový střížný nástroj [23]

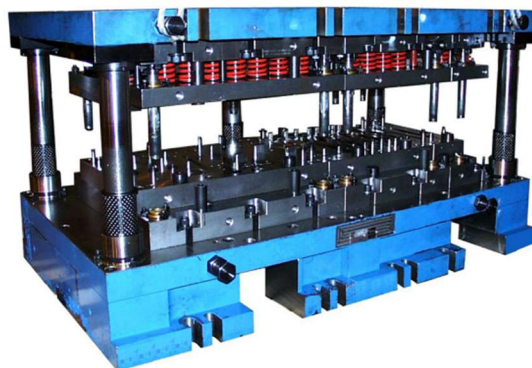
Vzhledem k navrhnutým možnostem výroby a strojovému parku firmy s přihlédnutím na vlastnosti materiálu, sériovost a požadovanou přesnost součásti, se jako nejvhodnější metoda jeví stříhání a ohýbání v nástroji. Kvůli velkému počtu kusů, složité manipulaci a dlouhému výrobnímu času, je možnost tyto dvě operace sdružit do jedné a snížit tak manipulační čas a náklady a zvýšit produktivitu výrobou správného nástroje. Teoretická i praktická část práce bude zaměřena právě na tuto problematiku.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [1], [2], [3], [24]

Jako nejvhodnější technologie výroby svorky, byla zvolena kombinace stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji (obr. 12). Ten umožňuje vykonávat obě technologie během výrobního procesu na jednom stroji.

Stříhání je velmi produktivní metoda určená k dělení materiálu. Spočívá v zatížení polotovaru silou, jenž vyvolá napětí, které je větší než mez pevnosti ve stříhu. Při procesu vznikají trhliny, rostoucí, dokud nedojde k oddělení materiálu. Proto je technologie v praxi hojně rozšířená, a je možné se s ní setkat ve většině případů, pokud se jedná o výrobu součástí z plechových či pásových polotovarů.

Ohýbání v nástroji spočívá ve přetvoření materiálu za pomoci lokálních sil či momentů, trvale měnících křivost ohýbaného polotovaru. V praxi je hojně rozšířeno a využíváno je především ke zpracování plechů.

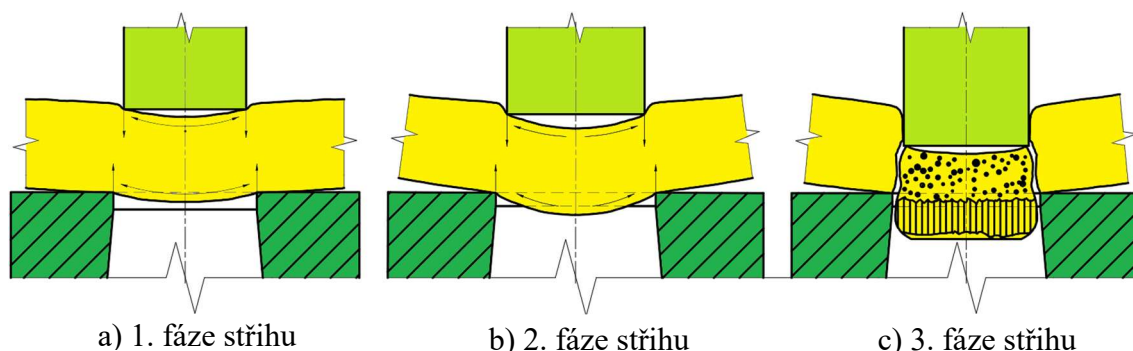


Obr. 12 Sdružený nástroj [24]

2.1 Stříhání [1], [2], [3], [25], [26], [27]

Stříhání patří mezi základní metody používané k dělení materiálu. Je to také jediná technologie plošného tváření, jejímž cílem je porušit polotovar. Oddělování probíhá podél křivky stříhu vytvořené pohybem střižníku do střižnice, čímž se vytváří střižné-smykové napětí. Proces lze rozdělit na 3 základní fáze:

- První (obr. 13a) nastane po dosednutí střižníku a dochází k elastickému vnikání do povrchu materiálu. Hloubka elastického vniknutí je závislá na jeho vlastnostech, obvykle bývá $5 \div 8 \%$ tloušťky.
- Ve druhé (obr. 13b) dochází k trvalé plastické deformaci působením napětí, jenž je větší než mez kluzu. Vzhledem k vlastnostem materiálu je hloubka plastického vniknutí (zatlačení) $10 \div 25 \%$ tloušťky.
- Ve třetí (obr. 13c) vzroste napětí až na mez pevnosti ve stříhu. Nejdříve vznikají na hranách trhlinky, které se rozšiřují do $10 \div 60 \%$ tloušťky, načež dojde k utržení. Na vlastnostech materiálu a velikosti střižné vůle závisí rychlost vzniku a šíření trhlin. Při stříhání s normální vůlí, se trhlinky šíří do jejich setkání a materiál je odtrhnut.



Obr. 13 Fáze stříhu [3]

Při stříhání je nutné vyrobít střižník s rozměrem menším, než je otvor ve střižnici. Následkem vznikne střižná mezera. Součet dvou mezer se nazývá střižná vůle. Její správná velikost zaručuje, že vznikající trhlinky v materiálu se setkají, a dojde k usmýknutí stříhané plochy. Dále má vliv na velikost potřebné síly a práce, trvanlivost břitů a drsnost plochy

výstřižku. Hodnota zejména závisí na druhu materiálu a jeho tloušťce. Při jejím stanovování si lze vybrat ze dvou metod:

- Stanovení střížné vůle jako % z tloušťky materiálu (tab. 3):

Tab. 3 Velikost střížné vůle [26].

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]	
	do 2,5	2,5 ÷ 6
Ocel měkká $\tau_{ps}=250 \div 350$ [MPa]	5	7 ÷ 8
Ocel středně tvrdá $\tau_{ps}=350 \div 500$ [MPa]	6	6 ÷ 8
Ocel tvrdá $\tau_{ps}=500 \div 700$ [MPa]	7 ÷ 9	7 ÷ 10

kde: τ_{ps} – střížný odpor [MPa]

- Stanovení střížné vůle podle Oehlerova vztahu pro plechy do tloušťky 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 0,64 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_{ps}}, \quad (2.1)$$

kde: z – střížná mezera [mm]

s – tloušťka materiálu [mm]

c – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 ÷ 0,025) [-]; pro kvalitnější povrch vyšší hodnoty součinitele; pro menší střížnou sílu vyšší hodnoty

Střížný odpor je schopnost materiálu bránit se proti oddělení. K určení hodnoty je možné využít více rovnic:

- Dle literatury [1]:

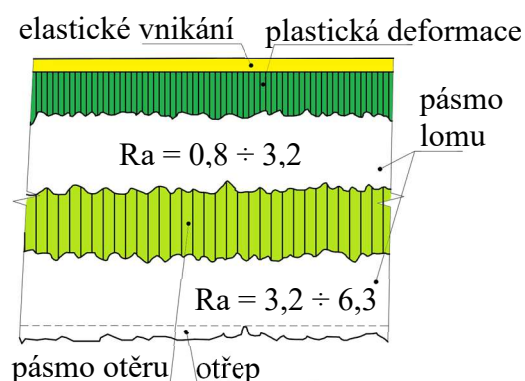
$$\tau_{ps} = 110 + 0,56 \cdot R_m \quad (2.2)$$

- Dle literatury [25]:

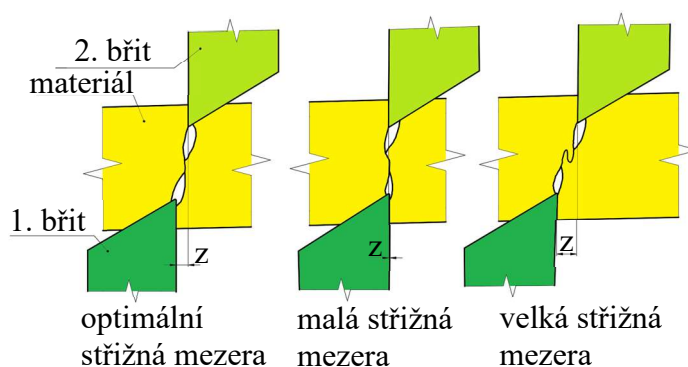
$$\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m. \quad (2.3)$$

Jeho velikost je závislá na několika faktorech, především mechanických vlastnostech. S rostoucí mezí pevnosti a klesající tvárností jeho hodnota narůstá. Mezi další vlivy patří rychlost stříhání, součinitel tření, chlazení a velikost střížné vůle.

Jak již bylo zmíněno, správná velikost střížné vůle má vliv na drsnost a kvalitu střížné plochy. Ta vzniká v materiálu při vnikání střížníku do střížnice. Tvar, který je znázorněn na obrázku 14, odpovídá stříhání s optimální velikostí střížné mezery, viz obr. 15.



Obr. 14 Střížná plocha [3]



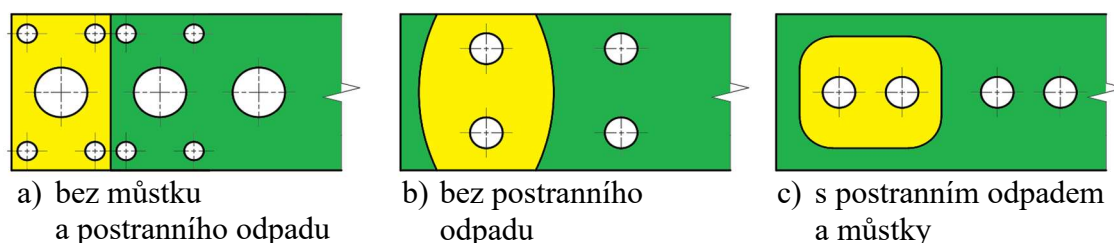
Obr. 15 Ukázky střížných mezer [27]

2.1.1 Rozmístění výstřižků a využití materiálu [1], [25], [26]

Výstřižky je nutné rozmísťovat na polotovary tak, aby výsledné využití materiálu bylo co největší. Z hlediska vznikajícího technologického odpadu jsou rozlišovány například tyto typy:

- Bez můstku a postranního odpadu – v tomto případě se jedná o využití celé šířky polotovaru téměř bez odpadu, který tvoří jen případné otvory vznikající děrováním (obr. 16a).

- Bez postranního odpadu – opět je využita celá šířka; kvůli zaoblením či zkosením na začátku nebo konci výstřížku vzniká minimální odpad (obr. 16b).
- S postranním odpadem a můstky – celá šířka polotovaru již není využita, a proto vzniká odpad nejen na začátku či konci výstřížku, ale i po stranách (obr. 16c).



Obr. 16 Příklady rozmístění výstřížků [1]

Při stříhání by měl být plechový díl vyroben z vhodného materiálu s takovým tvarem a rozměry, aby bylo možné ho zhotovit při co nejmenších nákladech. Nejčastěji je využíváno svitků či pásu plechu nastříhaných z tabulí. Výstřížky jsou na materiál rozmístěny tak, aby co největší plochu zaujaly výrobky. Využití se spočítá dle vzorce:

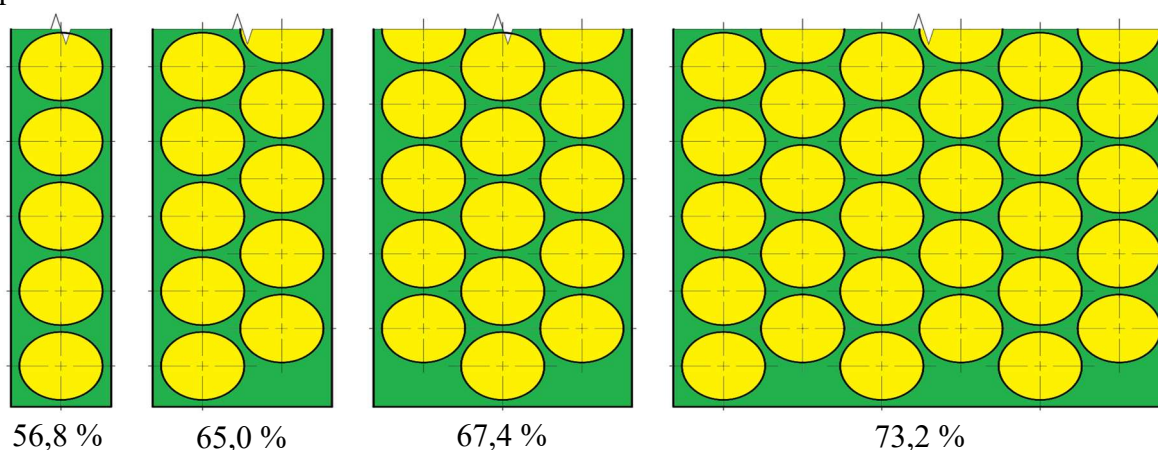
$$\eta = \frac{n_V \cdot S_V}{S_T}, \quad (2.4)$$

kde: n_V – počet výstřížků z jedné tabule/svitku plechu [-]

S_V – plocha jednoho výstřížku [mm^2]

S_T – plocha jedné tabule/svitku plechu [mm^2]

Využití materiálu by nemělo být nižší než 60 %, pokud by k tomuto stavu došlo, je potřeba hledat lepší rozmístění výstřížků, např. víceřadé (obr. 17), případně odpad zužitkovat jiným způsobem.



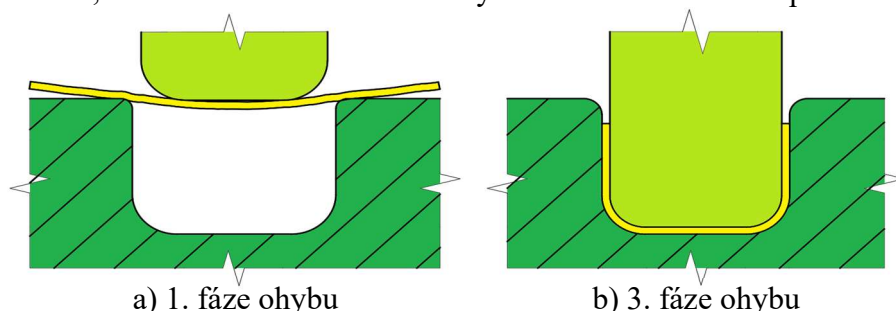
Obr. 17 Vliv rozmístění výstřížků na využití materiálu [25]

2.2 Ohýbání [1],[2], [3], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34]

Ohýbání je proces plošného tváření, jehož vlivem dochází k trvalé deformaci polotovaru. Velikost deformace ovlivňuje několik faktorů, jako je kvalita materiálu, jeho tloušťka, poloměr ohybu, velikost ohybové síly či orientace vůči směru válcování. Ohybem se zmenšuje poloměr zakřivení až na mezní hodnotu. Během procesu vznikají lokální plastické deformace v místě působení maximálního ohybového momentu. Proces ohýbání lze rozdělit na 3 fáze:

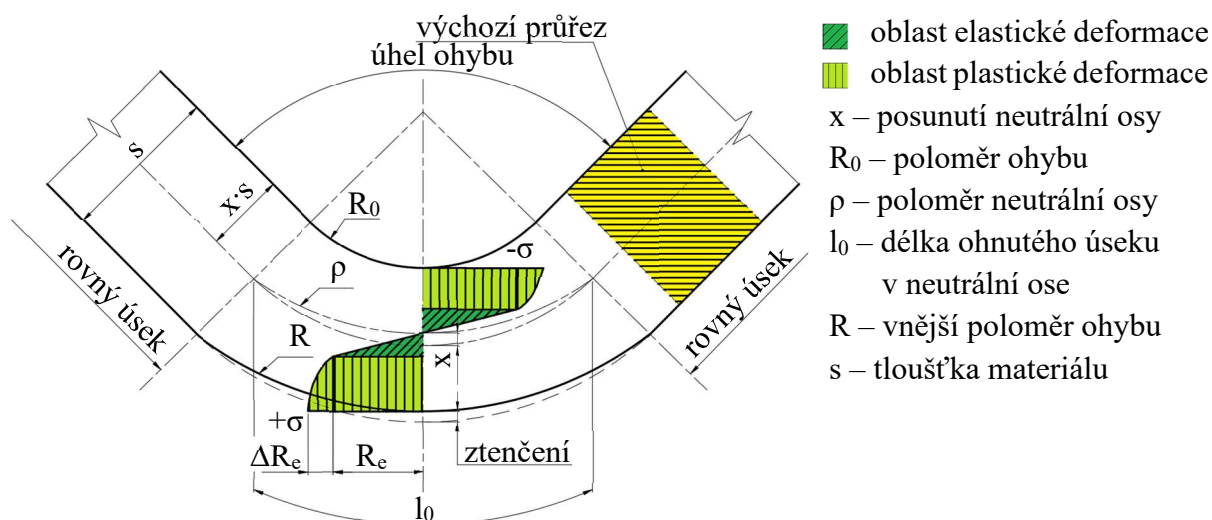
- Během první, dochází k elastické deformaci, ohybník vtlačuje polotovar do ohybnice a v materiálu vzniká napětí větší, než je mez kluzu (obr. 18a).
- Dalším posunem ohybníku nastává druhá fáze. Vzniká plastická deformace a ohybová síla postupně roste až na svoji maximální hodnotu, po níž dochází k mírnému poklesu.

- Ve finální fázi dochází mezi ohybníkem, materiálem a ohybnicí k plošnému styku. Síla prudce roste, čímž dochází ke kalibraci ohybu z důvodu snížení odpružení (obr. 18b).



Obr. 18 Fáze ohybu [29]

V průběhu ohýbání dochází ke zkracování délky původního polotovaru. Pro stanovení původní délky je nutné znát neutrální osu ohýbaného materiálu. Zde nepůsobí žádné napětí, a proto se délka neprodlužuje ani nestlačuje, viz obr. 19.



Obr. 19 Schéma ohýbání [2]

Při ohýbání dílců s velkými poloměry zaoblení, pro které platí, že podíl poloměru ohybu a tloušťky materiálu je větší nebo rovný 12, se předpokládá, že neutrální osa se neposouvá a zůstává uprostřed tloušťky původního polotovaru. Tomu odpovídá rovnice:

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2}, \quad (2.5)$$

kde: R_0 – poloměr ohybu [mm]

Avšak při ohýbání s menšími poloměry, pro něž podíl neplatí, nastává deformace, změna tloušťky a posun neutrální osy směrem k poloměru ohybu. Její poloměr se pak stanoví:

$$\rho = \left(R_0 + \frac{s}{2}\right) \cdot z_z \cdot z_r, \quad (2.6)$$

kde: z_z – součinitel ztenčení [-]

$$z_z = \frac{s_1}{s}, \quad (2.7)$$

kde: s_1 – tloušťka materiálu po ohnutí [mm]

z_r – součinitel rozšíření [-]

$$z_r = \frac{b_1}{b}, \quad (2.8)$$

kde: b_1 – šířka materiálu po ohnutí [mm]

b – šířka výchozího materiálu [mm]

Pro ohyb širokých pásů, když platí $b > 3 \cdot s$, je rovnice (2.6) dále upravena, protože šířka se prakticky nemění. Výpočet tedy bude:

$$\rho = R_0 + x \cdot s, \quad (2.9)$$

kde: x – součinitel posunutí neutrální osy [-]; hodnota dle tab. 4

Tab. 4 Hodnoty posunutí neutrální osy [1].

Mez pevnosti	$\frac{R_0}{s}$ [-]							
	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
do 400 [MPa]	0,36	0,37	0,38	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400 [MPa]	-				0,35	0,36	0,37	0,38

Výše zmíněný poloměr neutrální osy se využije k určení délky oblouku ohnuté části:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho, \quad (2.10)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku [°]

$$\gamma = 180 - \alpha \quad (2.11)$$

kde: α – úhel ohybu [°]

Každou ohýbanou součást lze rozdělit na rovné úseky ' l_i ' a ohýbané úseky. Celková délka je pak dána součtem jejich součtem, což lze vyjádřit vztahem:

$$l_c = \sum l_i + \sum l_{0j}. \quad (2.12)$$

Aby byla výroba co nejpresnější je potřeba uvažovat také odpružení. To nastává po odlehčení materiálu a je vyvoláno jeho elastickou deformací, přesněji vlákny materiálu, u kterých nedošlo k překročení meze kluzu. Projeví se změnou výsledného úhlu ohybu (obr. 21). Samotná velikost závisí na několika faktorech, zejména vlastnostech materiálu. Mezi další vlivy patří úhel ohybu, tloušťka plechu a poloměr ohybu. Schéma ohýbání se zakótovanými rozměry potřebnými k výpočtu je zobrazeno na obrázku 20. Výsledný vztah pro stanovení velikosti úhlu odpružení pak je:

$$\beta = \arctan \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k_\beta \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.13)$$

kde: l_u – vzdálenost mezi středy zaoblení ohybníku a ohybnice [mm]

$$l_u = R_0 + r_m + v_o, \quad (2.14)$$

kde: r_m – poloměr zaoblení ohybnice [mm]

v_o – ohybová vůle [mm]

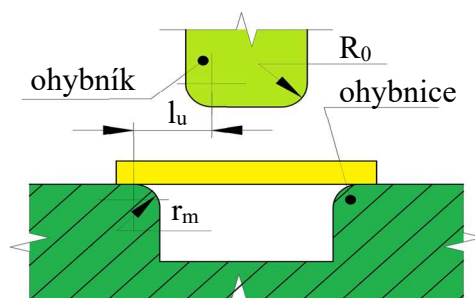
$$v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot s. \quad (2.15)$$

E – Youngův modul pružnosti v tahu [MPa], pro ocel $2,07 \cdot 10^5$

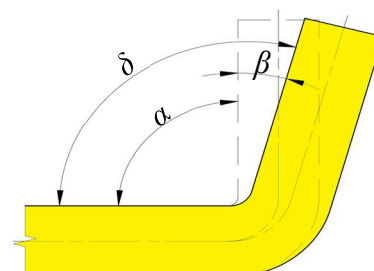
k_β – koeficient pro výpočet úhlu odpružení [-]; hodnota dle tab. 5

Tab. 5 Hodnoty koeficientu k_β [32].

$\frac{R_0}{s}$ [-]	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6
k_β [-]	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52

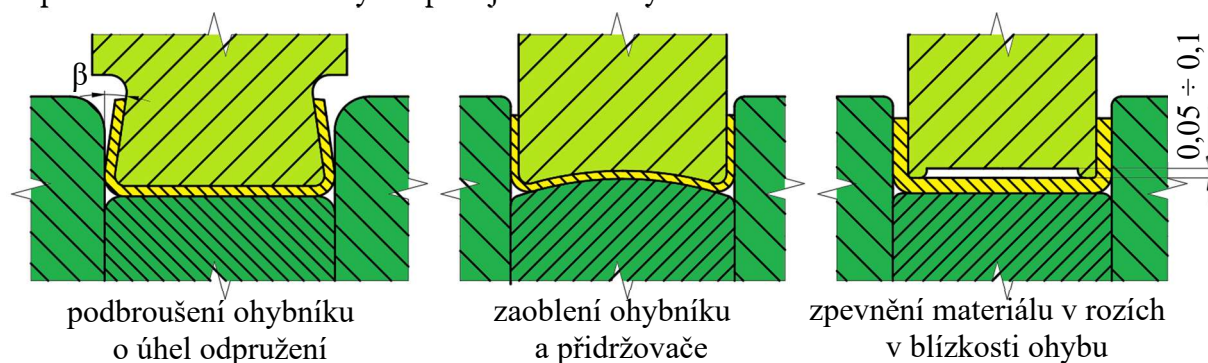


Obr. 20 Schéma ohybu do tvaru 'U' [1]



Obr. 21 Schéma odpružení [1]

Vhodnou konstrukční úpravou nástroje lze dosáhnout zmenšení či dokonce eliminaci odpružení. Některé z možných úprav jsou uvedeny na obrázku 22.



Obr. 22 Příklady úprav ke snížení odpružení [32]

2.2.1 Minimální a maximální poloměr ohybu [1], [2], [3]

Aby při ohýbání nedošlo k poškození součásti vznikem trhlinek na straně namáhané tahovým napětím, je nutné znát minimální poloměr ohybu, tj. nejmenší možná hodnota, při níž nedojde k porušení vláken materiálu. V praxi se však těchto ohybů využívá jen zřídka, když je to nutné. Zpravidla se volí hodnota přibližně o 20 % větší, tzn. místo poloměru o velikosti 1 mm se vyrobí 1,2 mm. Hodnota minimálního poloměru závisí na plastičnosti a anizotropii ohýbaného materiálu. Další vliv má také šířka a tloušťka ohýbaného polotovaru a směr vláken. Kvůli velkému přetvoření dochází k deformačnímu zpevnění, což může být u málo plastických materiálu problémem, a je vhodné před další výrobní operací použít tepelné zpracování pro obnovení plasticity (žihání). Samotnou hodnotu minimálního poloměru ohybu lze určit vztahem:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) \cong c_0 \cdot s, \quad (2.16)$$

kde: ε_c – mezní prodloužení [-], lze nahradit tažností materiálu

c_0 – součinitel ohybu [-], pro měkkou ocel $0,4 \div 0,8$

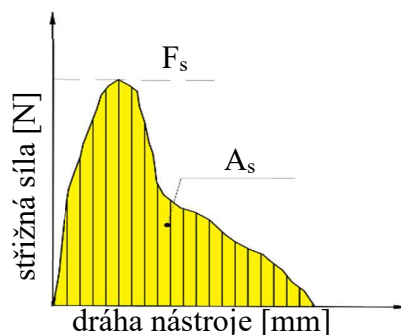
Při ohýbání s velkým poloměrem je vhodné znát hodnotu maximálního poloměru ohybu. Pokud by byl poloměr ohybu větší, napětí nedosáhne meze kluzu, a po odlehčení dojde k odpružení do výchozího stavu. Velikost závisí zejména na pružnosti materiálu:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \approx \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e}. \quad (2.17)$$

2.3 Síly a práce [1], [2], [3], [26], [31]

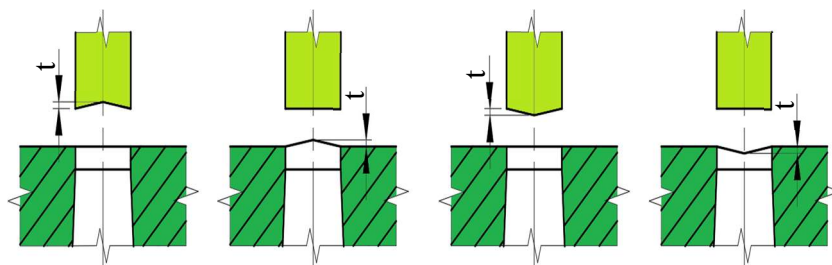
U sdruženého nástroje se kombinuje více technologií, pro něž je třeba určit potřebnou sílu a práci. Celková hodnota je dána součtem dílčích hodnot potřebných pro jednotlivé technologie:

- Stříhání – aby došlo k oddělení materiálu, je nutné na střížník působit dostatečně velkou silou pro vznik napětí, jež vyvolá vznik trhlin a odstřížení součásti. Z průběhu síly, zobrazeném na obrázku 23, je patrné, že po dosažení maximální hodnoty, těsně po skončení 2. fáze stříhu, se síla postupně snižuje. Nastává prudký pokles vznikem trhlinek, který trvá, dokud nedojde k jejich spojení. Následuje pozvolný pokles až na nulovou hodnotu, který je způsoben protlačováním



Obr. 23 Průběh střížné síly [3]

výstřižku skrze zbývající tloušťku plechu do střížnice. Velikost střížné síly lze ovlivnit několika faktory, jako jsou vlastnosti materiálu, trvanlivost nástroje či střížná vůle. Další možností je odstupňování střížníků nebo zkosení střížných břitů, při tloušťce plechu 3 mm o úhel $3 \div 8^\circ$. Zkosení se může nacházet jak na střížníku (děrování), tak na střížnici (vystřihování), viz obr. 24. Střih pak probíhá postupně a střížná síla se snižuje. Maximální hodnota se stanoví rovnicí:



Obr. 24 Ukázky zkosených břitů [26]

$$F_S = n \cdot S_S \cdot \tau_{ps} = n \cdot S_S \cdot \tau_{ps} \cdot k, \quad (2.18)$$

kde: n – koeficient otupení [-], obvykle $1,2 \div 1,55$

S_S – střížná plocha [mm^2]

$$S_S = s \cdot l_h, \quad (2.19)$$

kde: l_h – délka střížné hrany [mm]

k – koeficient zkosení [-]; velikost udává tabulka 6

Tab. 6 Hodnoty koeficientu zkosení [26].

Velikost zkosení 't' [mm], viz obr. 24	Koeficient zkosení [-]
s	0,4 ÷ 0,6
2·s	0,2 ÷ 0,4

Při vystřihování a děrování materiál vlivem ulpí na vnějších plochách střížníků, kvůli své pružnosti. Aby došlo k jeho setření při zpětném pohybu, je třeba vyvinout stírací sílu. Ta je závislá na vlastnostech materiálu, tloušťce, střížné vůli, mazání a velikosti střížné síly. Hodnota se stanoví dle rovnice:

$$F_{st} = C_1 \cdot F_S, \quad (2.20)$$

kde: C_1 – součinitel stírání [-]; menší hodnoty volit pro vystřihování a větší pro děrování; velikost udává tabulka 7

Tab. 7 Hodnoty součinitele stírání [26].

Materiál	Součinitel stírání [-]
Ocel do 1 mm	0,02 ÷ 0,12
Ocel 1 ÷ 5 mm	0,06 ÷ 0,16
Ocel nad 5 mm	0,08 ÷ 0,20

Také při vtláčování střížníku do střížnice je nutné vyvinout určitou sílu, která se nazývá protlačovací. Má podobný charakter jako síla stírací a je závislá na stejných činitelích. Hodnota se stanoví dle rovnice:

$$F_{pr} = C_2 \cdot F_S, \quad (2.21)$$

kde: C_2 – součinitel protlačování [-], pro ocel $0,005 \div 0,008$

K určení velikosti lisu je také potřeba znát střižnou práci. Práce je z fyzikálního hlediska definována jako plocha pod křivkou síly a lze ji tedy určit integrací. Avšak křivka střižné síly je nespojitá, což velmi ztěžuje výpočet. Proto se v praxi ke zjednodušení výpočtu využívá součinitel hloubky vtlačení (plnosti materiálu). Vztah pro střižnou práci pak bude:

$$A_s = K_A \cdot F_s \cdot h \cdot 10^{-3}, \quad (2.22)$$

kde: h – dráha nástroje [mm], v tomto případě střižníku

K_A – součinitel hloubky vtlačení [-]; hodnota dle tab. 8

Tab. 8 Hodnoty součinitele hloubky vtlačení [26].

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]		
	1 ÷ 2	2 ÷ 4	nad 4
Ocel měkká $\tau_{ps} = 250 \div 350$ [MPa]	0,65 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,35
Ocel středně tvrdá $\tau_{ps} = 350 \div 500$ [MPa]	0,55 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,42	0,40
Ocel tvrdá $\tau_{ps} = 500 \div 700$ [MPa]	0,42 ÷ 0,38	0,38 ÷ 0,33	0,30 ÷ 0,20

- Ohýbání – také pro výsledný ohyb je nutné určit velikost síly. Z průběhu zobrazeného na obrázku 25 lze vidět, že celková síla ' F_{CO} ' je o hodně větší než ohybová síla ' F_o '. To je způsobeno vznikem kalibrační síly ' F_k ' ve 3. fázi ohybu za účelem snížení velikosti odpružení. Její hodnota je 2 ÷ 2,5 násobek ' F_o '. Ke stanovení velikosti ohybové síly lze využít vzorce:

$$F_o = \frac{b \cdot s^2}{2 \cdot l_u} \cdot C_u \cdot R_m, \quad (2.23)$$

kde: C_u – součinitel zohledňující stav napjatosti a tření [-], pro ocel 1,6 ÷ 1,8

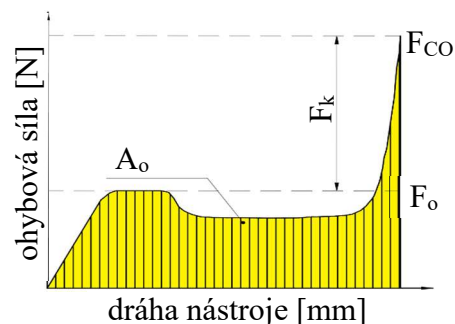
V některých případech se využívá přidržovačů, aby zabránili posuvu polotovaru během ohýbání. Síla působící na přidržovač:

$$F_{př} = (0,25 \div 0,30) \cdot F_o. \quad (2.24)$$

Jakmile je vypočtena celková velikost síly, lze určit hodnotu ohybové práce. Ta je opět dána velikostí plochy pod křivkou průběhu síly. Ve výpočtu se neuvažuje s kalibrovací silou, protože působí na velmi malé dráze, tudíž je možné ji zanedbat. Hodnotu lze spočítat integrací, avšak křivka je opět nespojitá, a proto se pro zjednodušení využívá vzorce:

$$A_o = \psi \cdot (F_o + F_{př}) \cdot h \cdot 10^{-3}, \quad (2.25)$$

kde: ψ – součinitel plnosti diagramu [-], pro ocel 0,5 ÷ 0,65



Obr. 25 Průběh ohybové síly [1]

2.4 Těžiště sil [26], [27], [32]

Pro správnou funkci sdruženého nástroje je nutné vyvážení, tj. výslednice všech dílčích sil musí působit v ose beranu lisu, kde je umístěna stopka, pomocí níž je nástroj do tvářecího stroje upínán. Jinak by vznikl klopný moment, jenž by negativně ovlivňoval přesnost a životnost nástroje i vedení beranu.

Proto je kromě určení velikostí sil pro jednotlivé střižníky a ohybníky, nutné také správně spočítat působíště nacházející se v těžištích jednotlivých nástrojů. Pokud se jedná o jednoduché obrazce jako jsou kruh, čtverec či obdélník lze využít obecně známých vztahů. Avšak pokud má obrazec složitější tvar, je vhodné využít výpočetní software nebo složitý tvar rozložit

na jednoduché a polohu spočítat podle obecného vzorce. Určení polohy výslednice lze zjistit buď graficky nebo početně, což je přesnější (obr. 26). Početní metoda vychází z momentové rovnováhy:

$$X_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i}, \quad (2.26)$$

kde: X_T – vzdálenost působíště výslednice od počátku ve směru 'x' [mm]

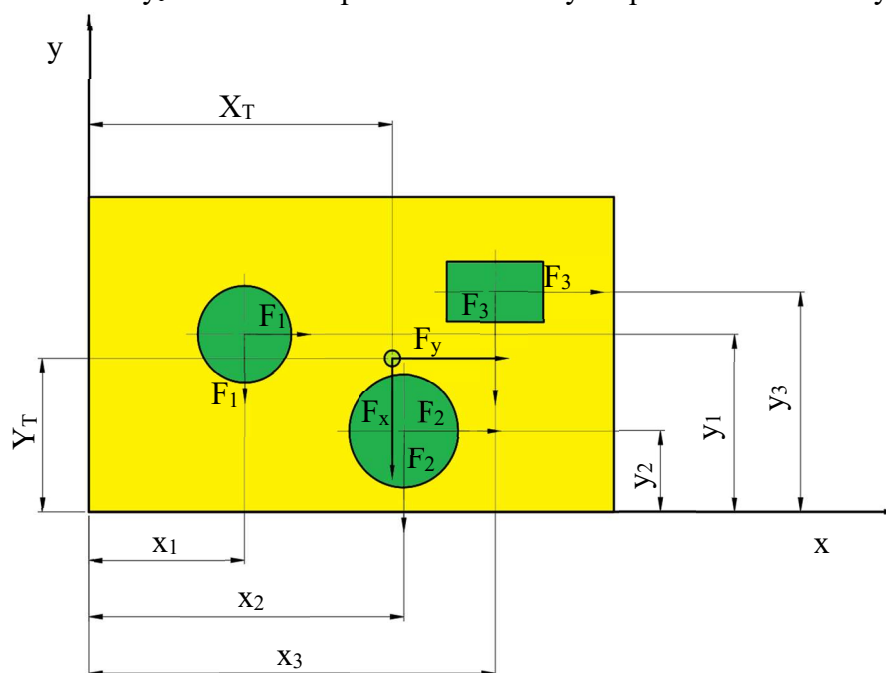
F_i – velikost dílčí síly [N]

x_i – vzdálenost působíště dílčí síly od počátku ve směru 'x' [mm]

$$Y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i}, \quad (2.27)$$

kde: Y_T – vzdálenost působíště výslednice od počátku ve směru 'y' [mm]

y_i – vzdálenost působíště dílčí síly od počátku ve směru 'y' [mm]



Obr. 26 Výpočet těžiště střížných sil [27]

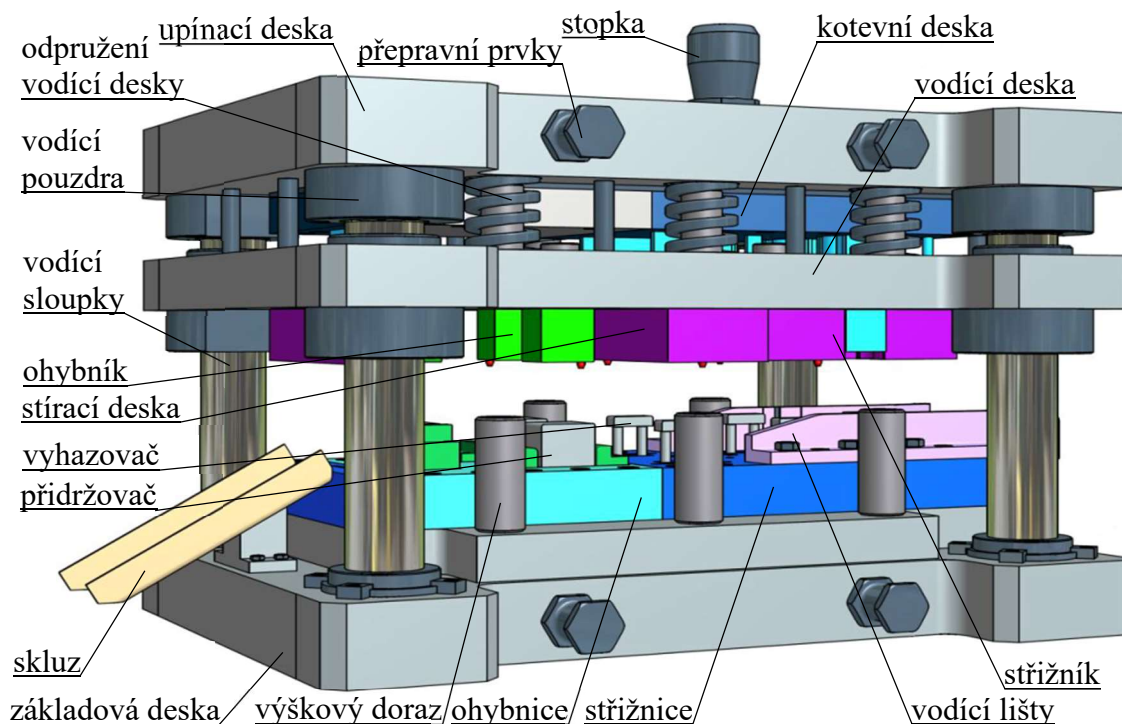
2.5 Nástroje [8], [26], [28], [32], [33]

Sdružené nástroje (obr. 27) slouží k sjednocení více operací plošného tváření. Obecně je lze rozdělit na části:

➤ Spodní – je upnuta ke stolu lisu a skládá se z:

- Základové desky – sloužící kupevnění spodní části nástroje do lisu. Spojení je realizováno pomocí T-šroubů, které se umísťují do drážek ve stolu nebo pomocí upínacího přípravku.
- Matrice – je pevná část nástroje z kalené nástrojové oceli. Pokud slouží k výrobě jednoduchých součástí, je z jednoho kusu. Pro složitější dílce se volí skládaná z více částí, například ze střížnice a ohybnice.
- Vodící desky – určené k vedení střížníků. To je realizováno pomocí tolerance „H/h“, čímž umožňuje střížník vyrobít delší, aniž by hrozila ztráta jeho vzpěrné stability.
- Vodících lišt – sloužících k vedení přiváděného polotovaru. Vzdálenost mezi nimi, je potřeba zvolit takovou, aby pás procházel volně i po deformacích, které mohou během procesu nastat. Šířka mezery se určí dle velikosti stříhané součásti, zvětšenou o velikost tolerance pásu a požadované vůle.

- Načínacích dorazů – plnicích funkci polohovacích elementů zajišťujících rovnoměrný posuv pásu plechu při jeho zavádění. Jakmile k tomu dojde, není jich třeba až do spotřebování polotovaru.
- Vodících sloupků – vedoucích horní pohyblivou část nástroje. Přesnost a životnost nástroje závisí na správném tuhém vedení. To je nutné dimenzovat tak, aby zachytilo případnou boční sílu, která by během procesu mohla vzniknout.
- Skluzu – sloužícímu k odvedení hotových výrobků z nástroje; často se jedná o ohýbaný plech připevněný k nástroji pomocí šroubů.



Obr. 27 3D model sruženého nástroje [28]

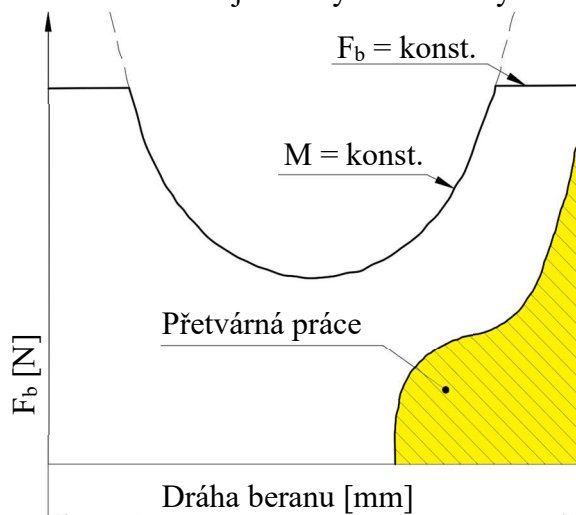
➤ Horní – je upnuta do beranu lisu za stopku a skládá se z těchto částí:

- Stopka – slouží k vystředění nástroje tak, aby na každý střížník a ohybník připadla vyhovující část celkové síly lisu. Pro zachování správné funkčnosti nástroje je nutné zajistit její kolmost vůči upínací desce.
- Upínací deska – je využívána k upevnění stopky k nástroji.
- Opěrná deska – je zpravidla zakalena a umístěna nad kotevní deskou, čímž zabraňuje střížníkům a ohybníkům vtlačování do nezakalené upínací desky.
- Kotevní deska – drží střížníky a ohybníky na svém místě.
- Vodící pouzdra – jsou upevňována do upínací desky a umožňují vedení sloupků při pohybu nástroje.
- Střížníky – slouží k odstřížení materiálu během střížného procesu.
- Ohybníky – jsou využívány k vytvarování požadovaného ohybu.
- Přidržovač – zabraňuje posuvu plechu během procesu ohýbání.

Vzhledem k odlišnému použití jednotlivých částí nástroje, jsou na komponenty kladeny specifické nároky, proto je nutné správně zvolit použitý materiál na jejich výrobu a případné tepelné či chemicko-tepelné zpracování. Pro pracovní části (střížníky, ohybníky, matrice) se volí kvalitní nástrojová ocel s odpovídajícími vlastnostmi. Nosné části nejsou namáhané tak, jako části pracovní, tudíž není nutné, je zhotovovat ze stejných materiálů. Jako nejvýhodnější se jeví použít konstrukční oceli, které dostatečně splňují pevnostní požadavky. Pro jednotlivé části se používají různé materiály, jejichž příklady jsou uvedeny v příloze 2.

2.6 Stroje [26], [27], [35], [36], [37], [38]

Správná a bezporuchová výroba součástí vyžaduje vzájemné působení stroje a nástroje. Lis použitý pro výrobu musí být schopen vyvinout dostatečnou sílu a umožnit upnutí nástroje ve vhodném místě, aby nedošlo k posunu těžiště. Vzhledem ke strojnímu vybavení firmy si lze vybrat z výstředníkových lisů LEN 10 C, LEN 40 C a LEN 63 C. Ty jsou určeny ke zpracování materiálu za studena, především stříháním, děrováním, mělkým tažením, ohýbáním či rovnáním. Princip činnosti spočívá ve vykonávání přímočarého vratného pohybu mezi horní a dolní úvratí (HÚ a DÚ). Polotovar je umístěn mezi jednotlivými díly nástroje, které jsou upnuty v beranu a stole lisu. V počáteční poloze má beran nulovou rychlost. V okamžiku, kdy dojde ke kontaktu s materiálem, už má rychlost v_b a působí silou F_b , která překoná potřebnou tvářecí sílu, načež dochází k požadované deformaci polotovaru. Proces je ukončen při nulové rychlosti nástroje v DÚ.



Obr. 28 Silový průběh výstředníkového lisu [37]

Mezi výhody patří univerzálnost výroby a jejich jednoduchost. Avšak z technologického hlediska je nezanedbatelnou nevýhodou, že největší hodnotu tvářecí síly lze odebrat až těsně před DÚ (obr. 28), dále obtížné vyvodit velkou sílu po delší dráze. I přes tyto nevýhody se však jedná o jedny z nejvíce využívaných lisů v provozu.

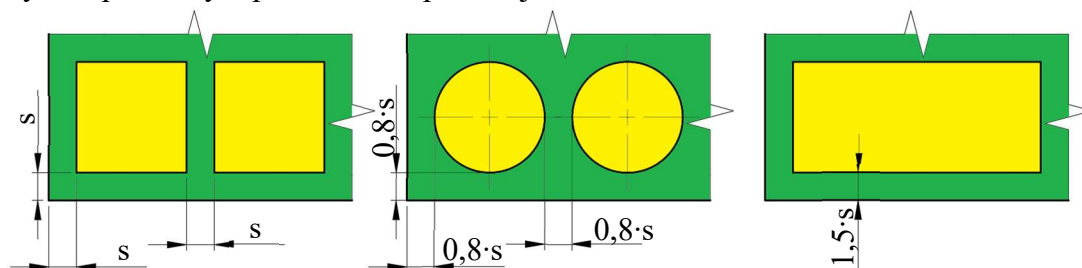
2.7 Technologičnost [1], [26], [27]

Před návrhem součásti je nutné zkontrolovat splnění technologických požadavků pro daný proces, jež zaručí výrobu s předepsanou kvalitou povrchu a tolerancemi. Technologičnost se do značné míry odvíjí od vlastností materiálu a geometrie dílce. Požadovanými podmínkami, jež je nutné ověřit, jsou:

➤ Stříhání:

- Materiál – pro stříhání může mít maximální mez pevnosti $1000 \div 1200$ MPa.
- Drsnost – střížné plochy odpovídá drsnosti odtržené plochy, tj. $R_a = 3,2 \div 6,3$ μm .
- Přesnost – výstřižků při stříhání s nevedenými střížníky dosahuje IT12 \div IT14, respektive IT9 \div IT11 se střížníky vedenými ve vodící desce. Nástroj musí být vyroben asi o 3 stupně přesněji než výrobek.
- Minimální průměr děrovaného otvoru – pro měkkou ocel má být větší než 1 mm a pro tvrdou ocel větší než 1,5 mm. Pro pravoúhlé obrazce jsou velikosti sníženy na 0,8 mm a 1,2 mm. Hodnoty rostou se zvětšující se tloušťkou materiálu.
- Minimální vzdálenost mezi střížnými hranami – se liší s tvarem výstřižku. Hodnoty uvedené na obrázku 29, platí pro středně tvrdé či tvrdé oceli, pro měkké oceli je nutné hodnoty zvětšit o 20 \div 25 %.
- Výhodnější tvar – je pro děrování kruhový. To neplatí při vystřihování, neboť dochází ke snižování využití materiálu.
- Vyčnívající výstupky – by měli mít výšku minimálně 120 % z tloušťky plechu.
- Ostré rohy výstřižků – je vhodné zaoblit či zkosit.

- Plynulé přechody – poloměry do přímk je vhodné odstranit.



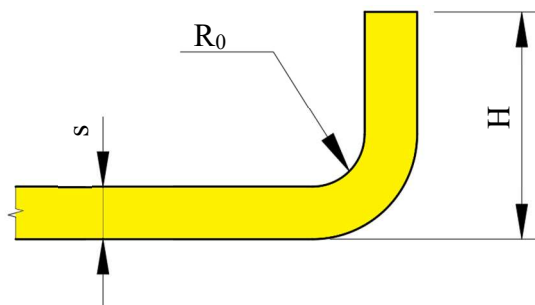
Obr. 29 Velikost přepážek při stříhání [1]

➤ Ohýbání:

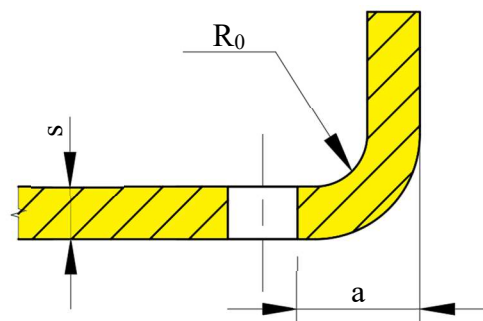
- Ztenčení průřezu – nastává v místě ohybu, proto je vhodné ho připustit až do 20 % tloušťky plechu.
- Délka ramene – 'H' (obr. 30) by měla být minimálně 2 mm, pro poloměr ohybu menší než 1 mm. Pro větší poloměry ohybu je hodnota 250 ÷ 300 % tloušťky materiálu.
- Konstrukční prvky – musí být v dostatečné vzdálenosti, aby nedošlo k deformaci jejich tvaru během ohýbání (obr. 31). Pro vzdálenost 'a' platí rovnice:

$$a \geq R_0 + 2 \cdot s. \quad (2.28)$$

- Krátká či nesouměrná ramena – způsobují posunutí během procesu ohýbání. Aby se jev snížil či dokonce až eliminoval, využívá se závěsných kolíků či kalených špiček umístěných v ohybníku.
- Hrana ohybu – volit ji kolmo ke směru válcování polotovaru; pokud by tomu tak nebylo, hrozilo by popraskání součásti.



Obr. 30 Minimální délka ramene výlisku [1]

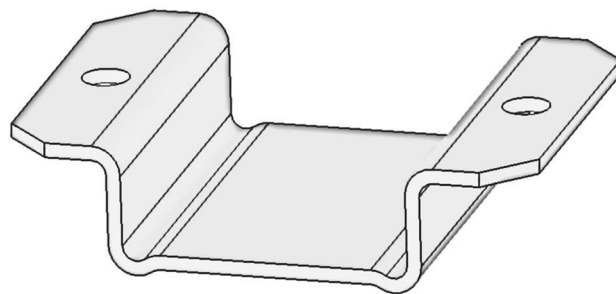


Obr. 31 Vzdálenost konstrukčních prvků od kraje [1]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Vyráběná součást je svorka (obr. 32), spojující prvky výstupového žebříku. Jako výrobní postup bylo zvoleno stříhání a ohýbání ve sduženém nástroji. Díl se vyrábí v sérii přibližně 1300 kusů týdně a je vyráběn z konstrukční oceli S235JR s tloušťkou 3 mm. Rozměry jsou dané výkresem 4-BP-209148-1. Před návrhem samotným je nutné ověřit technologičnost:

- Mezní odchylky netolerovaných rozměrů jsou předepsány normou ČSN ISO 2768-mK. Při stříhání s vedenými střížníky se dosahuje přesnosti IT9 ÷ IT11, což dostatečně splňuje požadavky dané výrobním výkresem.



Obr. 32 3D model svorky

- Drsnost povrchu předepsaná na výkrese je $R_a = 12,5 \mu\text{m}$, během stříhání se dosahuje drsností $R_a = 3,2 \div 6,3 \mu\text{m}$. Z čehož je patrné, že i tato podmínka je splněna.
- Minimální průměr stříhaného otvoru je pro měkkou ocel 1 mm a pro tvrdou 1,5 mm. Nejmenší střížník má průměr 10 mm, což vyhovuje kritériu.
- Minimální poloměr se zjistí z rovnice (2.14):

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{1}{0,393} - 1 \right) = 2,316 \text{ mm}$$

kde: $s = 3 \text{ mm}$, tloušťka materiálu

$\varepsilon_c = 0,393$, mezní přetvoření nahrazeno tažností materiálu; hodnota uvedena v tabulce 1

Z výpočtu vyplývá, že minimální poloměr ohybu je po zaokrouhlení 2,3 mm. Všechny ohyby na součásti mají poloměr 3 mm, což splňuje podmínku.

- Maximální poloměr ohybu je také vhodné zkontrolovat pomocí (2.15):

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{2,07 \cdot 10^5}{335} - 1 \right) = 925,366 \text{ mm}$$

kde: $E = 2,07 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, Youngův modul pružnosti v tahu

$R_e = 335 \text{ MPa}$, mez kluzu; viz tab. 1

Z vypočítané hodnoty vyplývá, že poloměry na součásti jsou výrazně menší a podmínka je splněna.

- Dále je potřeba ověřit vzdálenost konstrukčního prvku (otvoru pro šroub) od ramene ohybu, hodnota se zjistí dle (2.28):

$$a \geq R_0 + 2 \cdot s \geq 3 + 2 \cdot 3 \geq 9 \text{ mm}$$

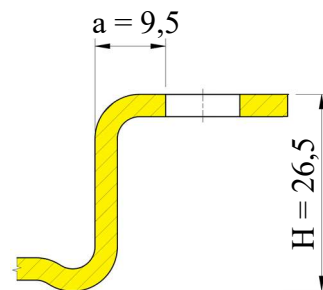
kde: $R_0 = 3 \text{ mm}$, poloměr ohybu

Minimální hodnota je 9 mm, z náčrtu (obr. 33) je patrné, že vzdálenost je 9,5 mm, tzn. podmínka je splněna.

- Pro délku ramene ohybu platí rovnice:

$$H > (2,5 \div 3) \cdot s > 3 \cdot 3 > 9 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Na náčrtu (obr. 33) lze vidět, že vzdálenost je 26,5 mm, což vyhovuje.



Obr. 33 Technologičnost ohybů

Z výsledků vyplývá, že technologičnost je splněna a na součástku je možné navrhnout výrobní postup.

3.1 Rozvinutý tvar

Aby měla součást požadovaný tvar, je nutné správně určit velikost rozvinutého polotovaru. U rovných úseků se neutrální osa neposouvá, avšak u oblouků se změna už počítat musí. Délky rovných úseků jsou dané náčrtem (obr. 34), na něm jsou označeny i délky jednotlivých oblouků, které se spočítají pomocí (2.8):

$$\Rightarrow l_{01} = l_{02} = \frac{\pi \cdot \gamma_1}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 4,05 = 6,362 \text{ mm}$$

kde: $\gamma_1 = 90^\circ$, úhel ohnutého úseku

$\rho = 4,05 \text{ mm}$, poloměr neutrální plochy; hodnota dle rovnice (2.7):

$$\rho = R_0 + x \cdot s = 3 + 0,35 \cdot 3 = 4,05 \text{ mm}$$

kde: $x = 0,35$, součinitel posunutí neutrální osy; viz tab. 3

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 6,4 mm.

$$\Rightarrow l_{03} = l_{04} = \frac{\pi \cdot \gamma_3}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 34}{180} \cdot 4,05 = 2,403 \text{ mm}$$

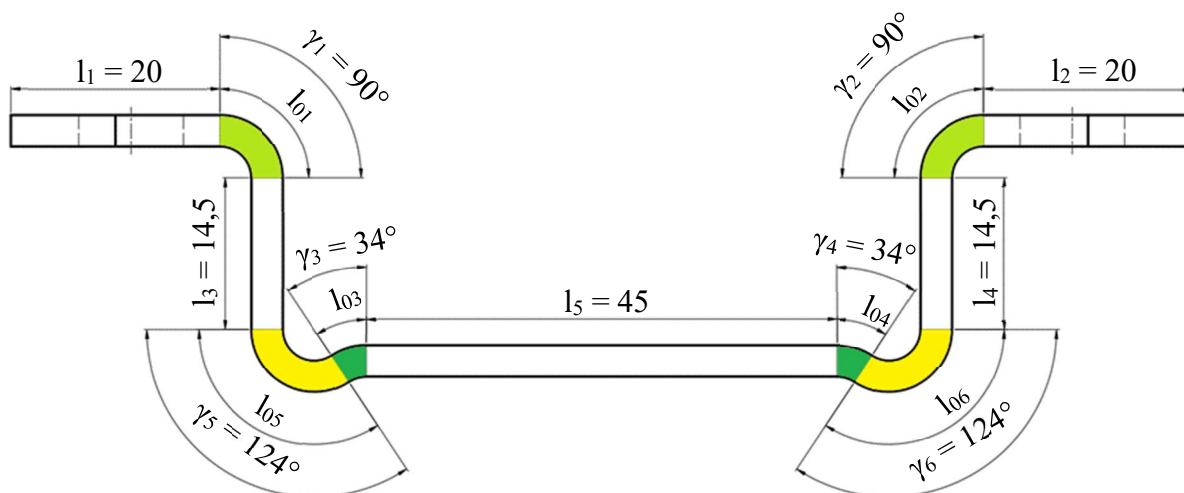
kde: $\gamma_3 = 34^\circ$, úhel ohnutého úseku

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 2,4 mm.

$$\Rightarrow l_{05} = l_{06} = \frac{\pi \cdot \gamma_5}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 124}{180} \cdot 4,05 = 8,765 \text{ mm}$$

kde: $\gamma_5 = 124^\circ$, úhel ohnutého úseku

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 8,8 mm.



Obr. 34 Rozměry pro výpočet rozvinu

Celková délka rozvinu se stanoví dle (2.10):

$$\begin{aligned} l_c &= \sum_{i=1}^5 l_i + \sum_{j=1}^6 l_{0j} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_{01} + l_{02} + l_{03} + l_{04} + l_{05} + l_{06} = \\ &= 20 + 20 + 14,5 + 14,5 + 45 + 6,4 + 6,4 + 2,4 + 2,4 + 8,8 + 8,8 = \\ &= 149,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Konečný tvar výstřižku bude obdélník s rozměry 80 x 149,2 mm.

3.2 Výchozí polotovar [1], [11], [39], [40]

Vzhledem k přesnosti výrobku, lze využít celou šíři polotovaru. Výstřižky za sebou mohou být umístěny buď podélně (obr. 37) nebo příčně (obr. 35). Příčné uspořádání má zásadní nevýhodu v tom, že po ohybu není možné plynule odejímat hotové výrobky z ohybnice pouze posunem plechu, viz obr. 36. Proto bylo zvoleno podélné uspořádání.

Pro výrobu lze použít dvou základních polotovarů, konkrétně svitek plechu nebo nastříhané pásy z tabule. Protože dojde k využití celé šíře polotovaru, jeho velikost je stejná jako velikost rozvinu tedy 149,2 mm. Možnosti polotovaru jsou:

- Svitek – je dodán v požadované šířce. Odpadá zde nutnost opakovaného zavádění materiálu. Nevýhodou je potřeba odvíjecího zařízení a rovnací linky k zajištění rovinnosti.
- Pásy – jsou nastříhány z tabulí. Ty jsou dodávány v rozměrech 1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm nebo 1500 x 3000 mm.

Po konzultaci s vedoucím pracovníkem s ohledem na strojní vybavení firmy, byl jako výchozí polotovar zvolen uštěpený pás z tabule plechu o rozměrech 1000 x 2000 mm. Dále byla z diagramu určená velikost přepážky 'e' zvětšena z 4,5 mm na 8 mm. Uspořádání výstřižků je zobrazeno na obrázku 37.

Pro správnou volbu výchozího polotovaru je potřeba spočítat využití materiálu pro pásy s délkou 1000 a 2000 mm:

- Využití materiálu pro pásy o délce 1000 mm:

- Počet pásů z jedné tabule:

$$n_{p1} = \frac{2\,000}{\check{S}} = \frac{2\,000}{149,2} = 13,405, \quad (3.2)$$

kde: $\check{S} = 149$ mm, šířka pásu

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na celé číslo, tedy 13, neboť rozvin lze vyrobit pouze z celých pásů.

- Počet výstřižků na jednom pásu:

$$n_{v1} = \frac{1\,000 - e}{K} = \frac{1\,000 - 8}{88} = 11,273, \quad (3.3)$$

kde: $K = 88$ mm, délka kroku

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na celé číslo, tj. 11, protože dílec lze vyrobit pouze z celých výstřižků.

- Počet výstřižků z tabule:

$$n_{v1} = n_{p1} \cdot n_{v1} = 11 \cdot 13 = 143. \quad (3.4)$$

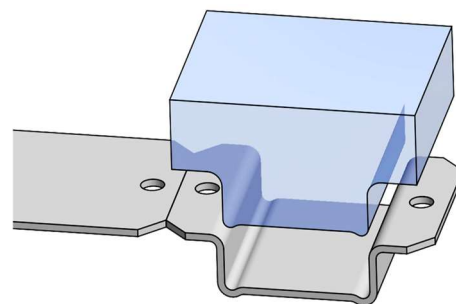
- Využití materiálu – spočteno dle rovnice (2.2):

$$\eta_1 = \frac{n_{v1} \cdot S_V}{S_T} = \frac{143 \cdot 11\,720}{2\,000\,000} = 0,838.$$

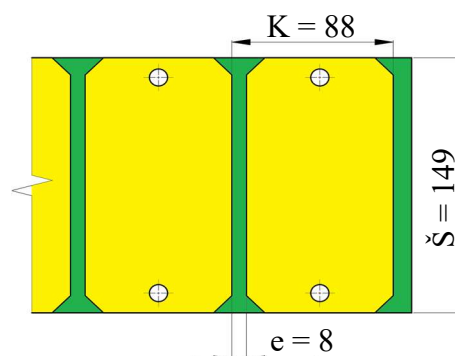
kde: $S_V = 11\,720$ mm², plocha výstřižku; spočteno pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022
 $S_T = 2\,000\,000$ mm², plocha tabule plechu



Obr. 35 Příčné uspořádání



Obr. 36 Posun příčného uspořádání



Obr. 37 Uspořádání výstřižků

➤ Využití materiálu pro pásy o délce 2000 mm:

- Počet pásů z jedné tabule se spočítá dle (3.2):

$$n_{p2} = \frac{1\,000}{\xi} = \frac{1\,000}{149,2} = 6,702.$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na celé číslo, tedy 6, neboť rozvin lze vyrobit pouze z celých pásů.

- Počet výstřižků na jednom pásu se určí podle rovnice (3.3):

$$n_{v2} = \frac{2\,000 - e}{K} = \frac{2\,000 - 8}{88} = 22,636.$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na celé číslo, tj. 22, protože dílec lze vyrobit pouze z celých výstřižků.

- Počet výstřižků z tabule se spočte pomocí (3.4):

$$n_{V2} = n_{p2} \cdot n_{v2} = 6 \cdot 22 = 132.$$

- Využití materiálu – spočteno opět podle (2.2):

$$\eta_2 = \frac{n_{V2} \cdot S_V}{S_T} = \frac{132 \cdot 11\,720}{2\,000\,000} = 0,774.$$

Z výsledků je patrné, že varianta s pásy o délce 1000 mm, má vyšší využitelnost materiálu. Avšak druhá varianta nepožaduje tak časté zavádění materiálu a manipulaci s ním. Obě možnosti budou ověřeny normovačem, který je vyhodnotí a vybere vhodnou metodu. Prozatím bude uvažována varianta s vyšší využitelností.

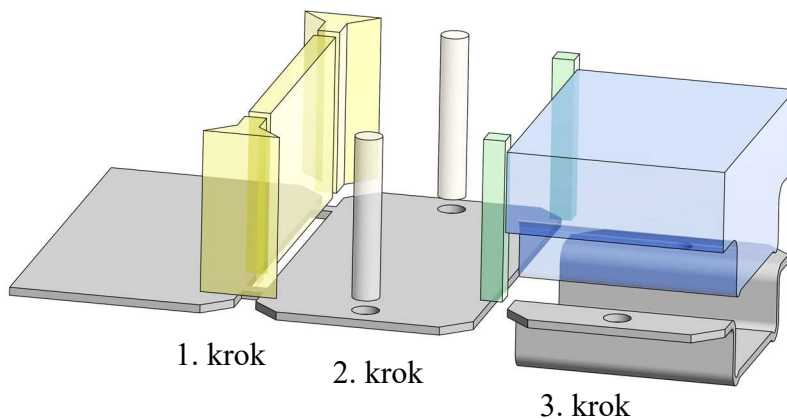
3.4 Výrobní postup

Pro zvolené rozložení výstřižků na pásu je potřeba konkretizovat rozmístění jednotlivých operací na pás plechu. Také je potřeba vyřešit způsob ohýbání. Aby bylo možné pás plechu ručně posouvat je vhodné vybavit nástroj pružícími segmenty. Tím dojde k nadzvednutí ohnuté součásti a její vyjmutí z ohybnice bude méně fyzicky náročné. V následujících variantách je zobrazeno a popsáno možné uspořádání jednotlivých operací:

➤ 1. varianta – potřebuje k výrobě 3 operace (obr. 38). Jednotlivé kroky jsou:

- první – vystřižení obrysu součásti kromě vodících můstků,
- druhý – vystřižení otvorů pro šrouby,
- třetí – odstřížení vodících můstků a ohyb do požadovaného tvaru.

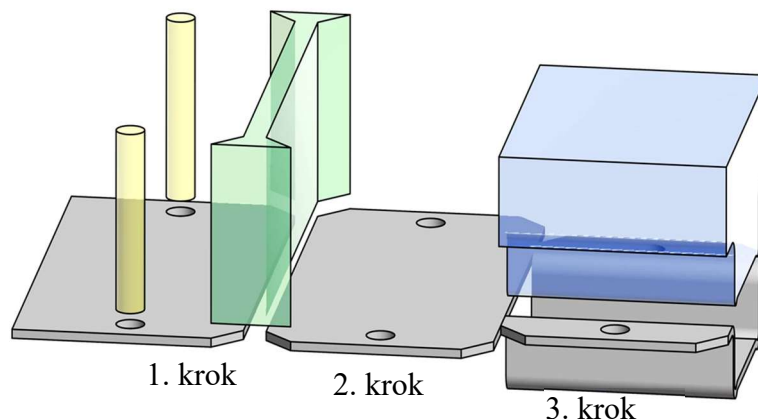
Výhodou je vedení materiálu až do posledního kroku, tudíž nehrozí jeho zaklínění. Avšak odstřížení vodících můstků proběhne až těsně před ohybem, a protože během ohybu může dojít k nepatrnému posuvu polotovaru, dělicím střížníkům (zelené značení) by hrozilo vyšší riziko poškození kvůli jejich velikosti.



Obr. 38 Výrobní postup – 1. varianta

- 2. varianta – je provedena opět ve 3 operacích (obr. 39):
- první – vystřížení otvorů pro šrouby a vystřížení celého obrysu součásti,
 - druhý – prázdný krok určený k posuvu součásti,
 - třetí – ohyb do finálního tvaru.

Výhoda varianty je, že díky prázdnému kroku dojde ke snížení možnosti zlomení dělicího střížníku (zelené značení), díky jeho větší mohutnosti. Nevýhodou je potřeba rovnějšího polotovaru, protože může dojít k zaklínění ustriženeho dílce z kroku 1 se vsouvaným pásem plechu.



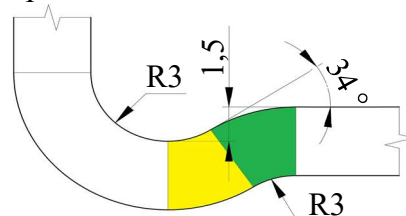
Obr. 39 Výrobní postup – 2. varianta

Jako nejvhodnější se jeví druhá varianta výrobního postupu, která byla také zvolena.

3.5 Odpružení

Při výrobě součásti ohýbáním, je nutné počítat se vznikem odpružení vlivem elastické deformace. Je potřeba ho určit pro každý ohyb a následně hodnotu porovnat výkresovou dokumentací či normou. Pro ohyby na součásti bude velikost odpružení:

- Z-ohyby – se nacházejí v dolní části součásti. Protože se jedná o totožné ohyby (obr. 40), které budou následně kalibrovány, umístěné od sebe, vznikající minimální úhlové odpružení se díky tomu eliminuje. Nastává pouze nepatrná změna poloměru ohybu. Avšak ta nemá na funkčnost součásti žádný vliv, tudíž je možné ji zanedbat.



Obr. 40 Geometrie z-ohybu

- Ohyb ramen – o 90 ° (obr. 41) vytvoří mezeru pro vložení výstupového žebříku. Velikost úhlu odpružení se stanoví pomocí (2.11):

$$\beta = \arctan \left(0,75 \cdot \frac{l_{u2}}{k_{\beta} \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctan \left(0,75 \cdot \frac{9,3}{0,58 \cdot 3} \cdot \frac{335}{2,07 \cdot 10^5} \right) = 0,37^{\circ},$$

kde: $s = 3$ mm, tloušťka materiálu

$k_{\beta} = 0,58$, koeficient pro výpočet úhlu odpružení; hodnota dle tab. 5

$E = 2,07 \cdot 10^5$ MPa, Youngův modul pružnosti

$R_e = 355$ MPa, mez kluzu v tahu

$l_{u2} = 9,3$ mm, vzdálenost mezi středy zaoblení ohybníku a ohybnice stanovena dle (2.12):

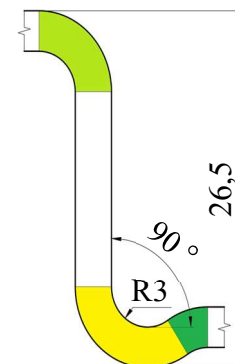
$$l_{u2} = R_0 + r_m + v_o = 3 + 3 + 3,3 = 9,3 \text{ mm},$$

kde: $R_0 = 3$ mm, poloměr ohybu

$r_m = 3$ mm, poloměr zaoblení ohybnice

$v_o = 3,3$ mm, ohybová vůle spočtena dle rovnice (2.13):

$$v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot s = 1,1 \cdot 3 = 3,3 \text{ mm}.$$



Obr. 41 Geometrie ohybu ramen

3.6 Síly a práce [41], [42]

Pro správnou volbu stroje a návrh funkčních částí nástroje je třeba určit potřebnou sílu a práci pro každou operaci:

➤ Stříhání:

- Střížná síla – je počítána pomocí rovnice (2.16) pro všechny střížníky:

– Střížná síla děrovacích střížníků potřebná k výrobě otvorů pro šrouby:

$$F_{s1} = n \cdot S_{s1} \cdot \tau_{ps} = 1,45 \cdot 188,4 \cdot 351 = 95\,886,2\,N,$$

kde: $n = 1,45$, koeficient otupení

$S_{s1} = 188,4\,mm^2$, střížná plocha stanovena dle (2.17):

$$S_{s1} = s \cdot l_{h1} = 3 \cdot 62,8 = 188,4\,mm^2,$$

kde: $l_{h1} = 62,8\,mm$, délka střížné hrany obou děrovacích střížníků; spočteno v programu Autodesk Inventor Professional 2022

$\tau_{ps} = 351\,MPa$, střížný odpor spočten dle (2.2) respektive (2.3):

$$\tau_{ps} = 110 + 0,56 \cdot R_m = 110 + 0,56 \cdot 430 = 350,8\,MPa$$

kde: $R_m = 430\,MPa$, mez pevnosti v tahu; hodnota dle tab. 1

$$\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 430 = 344\,MPa.$$

Pro další výpočty byla zvolena vyšší hodnota zaokrouhlená na celé číslo, tedy 351 MPa.

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlená na 95,9 kN.

– Střížná síla dělicího střížníku nutná pro odstřížení rozvinu:

$$F_{s2} = n \cdot S_{s2} \cdot \tau_{ps} \cdot k = 1,45 \cdot 959,7 \cdot 351 \cdot 0,4 = 195\,375,8\,N,$$

kde: $k = 0,4$, koeficientu zkosení; hodnota dle tab. 6

$S_{s2} = 959,7\,mm^2$, střížná plocha spočtena dle (2.17):

$$S_{s2} = s \cdot l_{h2} = 3 \cdot 319,9 = 959,7\,mm^2,$$

kde: $l_{h2} = 319,9\,mm$, délka obvodu střížné hrany; spočteno v programu Autodesk Inventor Professional 2022

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlená na 195,4 kN.

- Střížná práce – je určena jako střížná či stírací síla pro každý střížník dle rovnice (2.21):

– Střížná práce děrovacího střížníku potřebná pro vystřížení otvorů pro šrouby:

$$A_{s1} = K_A \cdot F_{s1} \cdot h_1 \cdot 10^{-3} = 0,46 \cdot 95,4 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 131,7\,J,$$

kde: $K_A = 0,46$, součinitel hloubky vtlačení materiálu; hodnota dle tab. 8

$h_1 = 3\,mm$, dráha střížníku; v tomto případě tloušťka materiálu

Zaokrouhleno pro další výpočty na hodnotu 132 J.

– Střížná práce dělicího střížníku spotřebovaná na odstřížení rozvinu:

$$A_{s2} = K_A \cdot F_{s2} \cdot h_2 \cdot 10^{-3} = 0,46 \cdot 195,4 \cdot 10^3 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 808,9\,J,$$

kde: $h_2 = 9\,mm$, dráha střížníku; v tomto případě je větší kvůli zkosení

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlená na 809 J.

Celková střížná síla či práce je pak součtem všech dílčích hodnot:

$$F_{CS} = \sum_{i=1}^2 F_{si} = 95,9 + 195,4 = 291,3\,kN. \quad (3.4)$$

$$A_{CS} = \sum_{i=1}^2 A_{si} = 132 + 809 = 941\,J. \quad (3.5)$$

Aby mohlo stříhání správně probíhat, je nutné zvolit správnou velikost střížné vůle. Lze ji stanovit vícero metodami:

- hodnota dle tabulky 3:

$$v = (0,06 \div 0,08) \cdot s = 0,07 \cdot s = 0,21 \text{ mm}$$

- hodnota dle rovnice (2.1):

$$v = 0,64 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 0,64 \cdot 0,006 \cdot 3 \cdot \sqrt{351} = 0,216 \text{ mm}$$

kde: $c = 0,006$, součinitel závislý na stupni stříhu; zvolena nižší hodnota kvůli lepší kvalitě střížné plochy

Byla zvolena hodnota dle tabulky 3, tj. 0,21 mm.

➤ Ohýbání:

- Ohybová síla – je spočtena pomocí (2.23):

- Z-ohyb:

$$\begin{aligned} F_{o1} &= \frac{b \cdot s^2}{2 \cdot l_{u1}} \cdot C_u \cdot R_m = \\ &= \frac{80 \cdot 3^2}{2 \cdot 4,97} \cdot 1,8 \cdot 430 = 56\,064,4 \text{ N}, \end{aligned}$$

kde: $b = 80 \text{ mm}$, šířka polotovaru

$C_u = 1,8$, součinitel zohledňující stav napjatosti a tření

$l_{u1} = 4,97 \text{ mm}$, vzdálenost zaoblení ohybníku a ohybnice (obr. 42)

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 56,1 kN.

- Ohyb ramen:

$$\begin{aligned} F_{o2} &= \frac{b \cdot s^2}{2 \cdot l_{u2}} \cdot C_u \cdot R_m = \\ &= \frac{80 \cdot 3^2}{2 \cdot 9,3} \cdot 1,8 \cdot 430 = 29\,961,3 \text{ N}, \end{aligned}$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 30 kN.

- Přidržovací síla – se stanoví dle (2.24):

- Z-ohyb:

$$F_{př1} = (0,25 \div 0,30) \cdot F_{o1} = 0,30 \cdot 56\,064 = 16\,819,2 \text{ N}.$$

Zaokrouhleno na 16,8 kN pro další výpočty.

- Ohyb ramen:

$$F_{př2} = (0,25 \div 0,30) \cdot F_{o2} = 0,30 \cdot 29\,961 = 8\,988,3 \text{ N}.$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 9 kN.

- Kalibrovací síla – sloužící ke snížení odpružení se spočítá:

- Z-ohyb:

$$F_{k1} = (2 \div 2,5) \cdot F_{o1} = 2,5 \cdot 56\,064 = 140\,160 \text{ N}. \quad (3.6)$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 140,2 kN.

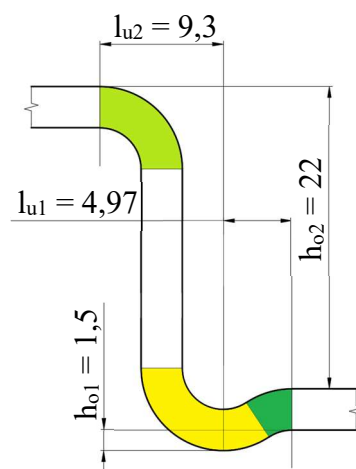
- Ohyb ramen spočítán také dle zmíněné rovnice (3.6):

$$F_{k2} = (2 \div 2,5) \cdot F_{o2} = 2,5 \cdot 29\,961 = 74\,902,5 \text{ N}.$$

Zaokrouhleno na 74,9 kN pro další výpočty.

Celková ohybová síla je součtem všech dílčích sil:

$$\begin{aligned} F_{CO} &= F_{o1} + F_{o2} + F_{př1} + F_{př2} + F_{k1} + F_{k2} = \\ &= 56,1 + 30 + 16,8 + 9 + 140,2 + 74,9 = 327 \text{ kN}. \end{aligned} \quad (3.7)$$



Obr. 42 Geometrie ohybu

Ohybová práce – spotřebovaná při ohýbání:

– Z-ohyb:

$$A_{o1} = \psi \cdot (F_{o1} + F_{př1}) \cdot h_{o1} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,65 \cdot (56,1 \cdot 10^3 + 16,8 \cdot 10^3) \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 71,1 J,$$

kde: $\psi = 0,65$, součinitel plnosti diagramu

$h_{o1} = 1,5$ mm, dráha nástroje (obr. 42)

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 71 J.

– Ohyb ramen:

$$A_{o2} = \psi \cdot (F_{o2} + F_{př2}) \cdot h_{o2} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,65 \cdot (30 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^3) \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 557,7 J,$$

kde: $h_{o2} = 22$ mm, dráha nástroje (obr. 42)

Zaokrouhleno na 558 J pro další výpočty.

Potřebná ohybová práce je součtem všech dílčích složek:

$$A_{CO} = A_{o1} + A_{o2} = 71 + 558 = 629 J. \quad (3.8)$$

Z dílčích výsledků je nyní možné součtem určit celkovou potřebou sílu a práci:

$$F = F_{CS} + F_{CO} = 291,3 + 327 = 618,3 kN. \quad (3.9)$$

$$A = A_{CS} + A_{CO} = 941 + 629 = 1\,570 J. \quad (3.10)$$

Pro umožnění výroby součásti je potřeba tvářecí síla 618 kN a celková tvářecí práce 1,6 kJ. Z možných strojů byl vybrán LEN 63 C s tvářecí silou 630 kN (obr. 43). Technické parametry lisu uvedené v tabulce 9, vychází z přílohy 3. Velikost výše spočtené síly, je teoretická maximální hodnota, ve skutečnosti však bude nižší kvůli rozdílné délce nástrojů (maximum střížné síly nenastane ve stejný okamžik). Jelikož je tento fakt zanedbán vzniká dodatečná rezerva pro lis.

Tab. 9 Technické parametry lisu LEN 63 C [41].

Jmenovitá síla		[kN]	630
Počet zdvihů		[min ⁻¹]	$\frac{65}{130}$
Tvářecí práce	Jednotlivé zdvihy	[J]	1 500 ÷ 2 200
	Trvalý chod		750 ÷ 1 100
Tloušťka plechu	Jednotlivé zdvihy	[mm]	5 ÷ 7
	Trvalý chod		2,5 ÷ 3,5
Přestavitelnost zdvihu		[mm]	10 ÷ 105
Přestavitelnost beranu		[mm]	70
Vyložení		[mm]	315
Sevření		[mm]	335
Průchod		[mm]	355
Výška stolu		[mm]	800
Naklopení stojanu		[°]	25



Obr. 43 Výstředníkový lis LEN 63 C [42]

3.6.1 Poloha těžiště sil

Jakmile jsou známy potřebné tvářecí síly, lze určit polohu působíště silové výslednice, do kterého bude umístěna stopka nástroje, aby nedocházelo k vyosení nástroje. Protože jsou rozloženy symetricky podél osy Y, není nutné pro ni polohu těžiště počítat. Pro osu X to již neplatí, vzdálenost, zobrazená na obrázku 44, je spočtena rovnicí (2.26):

$$X_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} = \frac{F_{s1} \cdot x_1 + F_{s2} \cdot x_2 + F_{co} \cdot x_3}{F_{s1} + F_{s2} + F_{co}} =$$

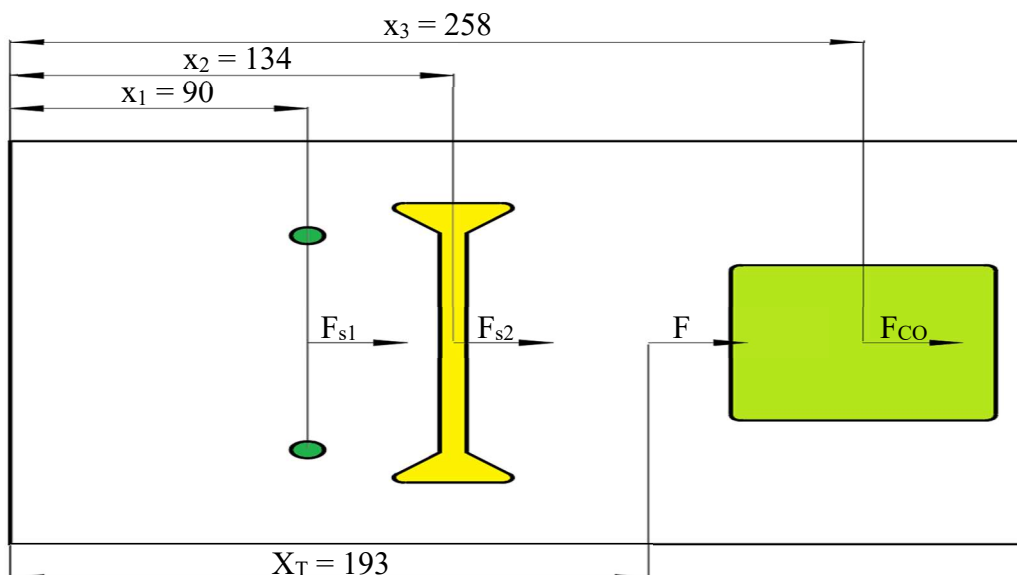
$$= \frac{95\,886 \cdot 90 + 195\,376 \cdot 134 + 326\,895 \cdot 258}{95\,886 + 195\,376 + 326\,895} = 192,749 \text{ mm}$$

kde: $x_1 = 90$ mm, poloha působíště děrovacích střížníků

$x_2 = 134$ mm, poloha působíště dělicího střížníku

$x_3 = 258$ mm, poloha působíště celkové ohybové, síly

Hodnota je zaokrouhlena na 193 mm.



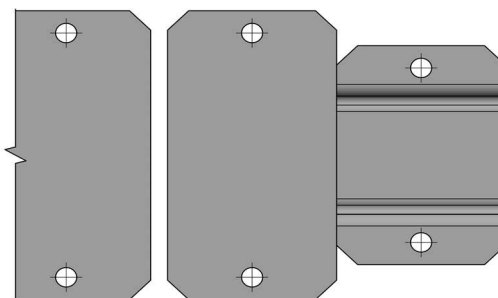
Obr. 44 Těžiště sil

Z výsledku vyplývá, že poloha těžiště se nachází 193 mm od hrany upínací desky. Do tohoto místa je potřeba umístit stopku, za níž bude nástroj upnut do beranu lisu.

3.7 Konstrukce nástroje

Při konstrukci nástroje je nutné respektovat zvolený výrobní postup a z něj vyplývající tvary střížníků a ohybníku (obr. 45). 3D model byl vypracován v programu Autodesk Inventor Professional 2022, viz obr. 46 a 47.

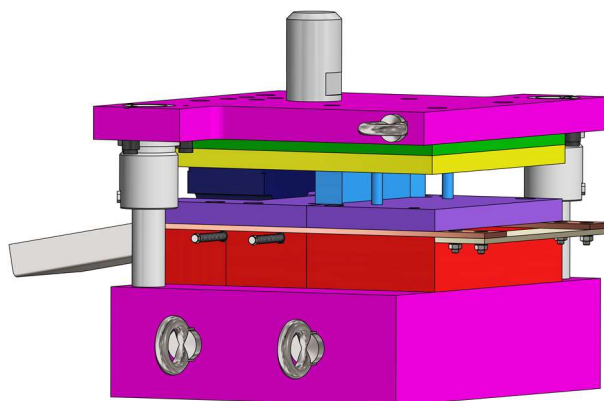
Polotovár ve formě nastříhaných pásů z tabule plechu je vsunut do nástroje. Pohyb ve správném směru zajišťují vodící lišty a posuv o požadovaný krok při zavádění umožní načínací dorazy. Posuv o správný krok v pozdější fázi zajišťuje koncový doraz, který je seřízen tak, aby reflektoval mezeru vytvořenou dělicím střížníkem. Horní část nástroje, která je tvořena ohybníkem, střížníky, kotevní, opěrnou a upínací deskou a stopkou, klesá, než dojde k dotyku střížníků s plechem. Následně jsou vystříženy otvory, dílec je oddělen a ohnut do požadovaného tvaru. Vznikající odpad propadne otvorem v základové



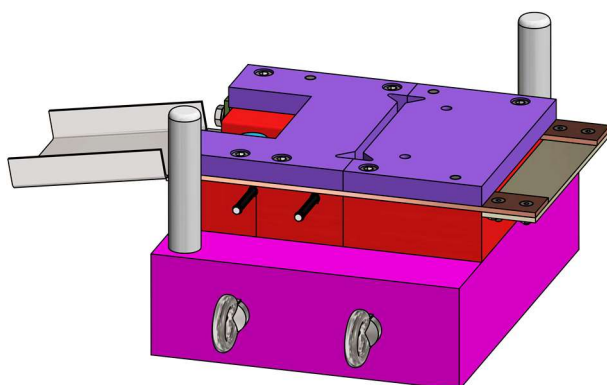
Obr. 45 Výrobní postup

desce a propadovým otvorem v lisu. Spodní polovinu tvoří „mohutná“ základová deska, do níž jsou upnuty ostatní části, konkrétně se jedná o ohybnici, střížnice, pružinu přidržovače, vodící lišty, desky a sloupky. Jak spodní, tak i horní část je opatřena manipulačními prvky (závěsná oka) kvůli snadnější přepravě a rozebrání či skládání nástroje.

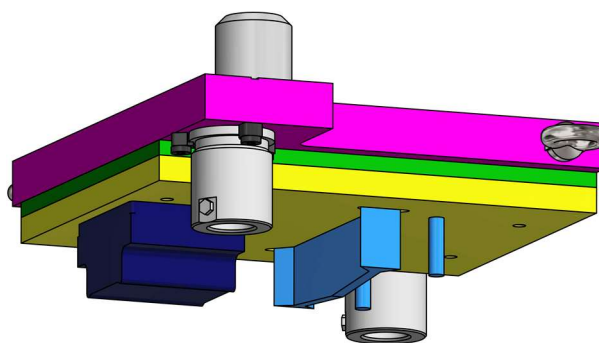
Při konstrukci střížnice a vodící desky byl vznesen požadavek, aby jejich výroba byla realizovatelná ve firmě. Protože se ve strojovém parku nenachází zařízení umožňující elektroerozivní obrábění, bylo nutné koncipovat konstrukci těchto částí tak, aby šly součásti vyrobit pomocí frézování, a proto jsou rozdělené, viz obr. 48. Jejich přesnou polohu zajišťují kolíky a upevnění do základové desky je realizováno pomocí šroubů procházejících přes všechny díly až do základové desky, jak je znázorněno na obrázku 49.



Obr. 46 3D model nástroje



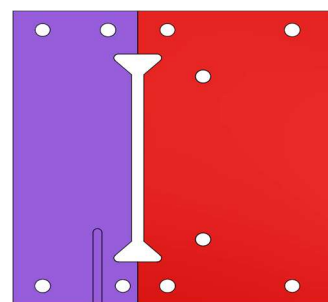
spodní část nástroje



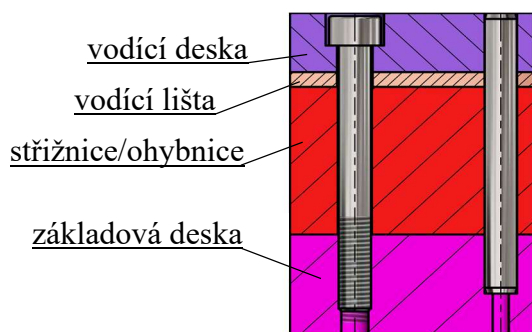
horní část nástroje

Obr. 47 Horní a spodní část nástroje

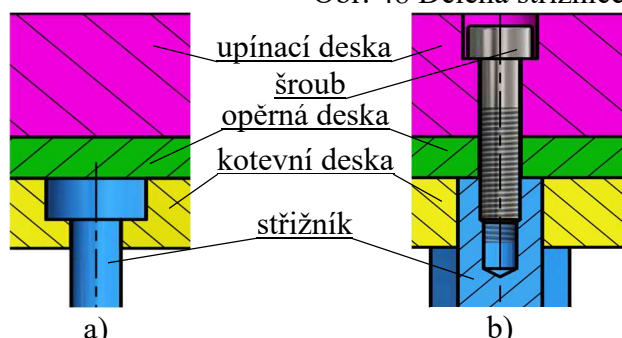
Další funkční části jsou střížníky a ohybník. Uložení děrovacího střížníku v kotevní desce je realizováno osazením (obr. 50a). Díky kruhovému tvaru se jedná o nejjednodušší řešení pro uchycení. Avšak pro dělicí střížník to už neplatí. Kvůli jeho komplexnějšímu tvaru je jednodušší zajištění realizovat pomocí šroubů (obr. 50b). Totéž platí i pro ohybník. Poloha dělicího střížníku je vymezena díky jeho tvaru. Aby stejná metoda mohla fungovat i pro ohybník, jsou jeho rohy zaobleny, čímž dojde ke správnému vymezení polohy.



Obr. 48 Dělená střížnice



Obr. 49 Uložení střížnic a ohybnice



Obr. 50 Uchycení pracovních částí nástroje

3.7.1 Návrh pracovních částí nástroje [8], [11], [26], [34], [43]

Hlavní pracovní části jsou střížnice, ohybnice, střížníky a ohybník. Jako výchozí materiál pro ně byla zvolena ocel 19 436 (1.2080), s ohledem na strojní vybavení obráběcího centra. Jedná se o ušlechtilou legovanou ocel s vysokou odolností proti opotřebení kovovými látkami, určenou zejména pro práci za studena pro všechny druhy nástrojů, u nichž je požadována dlouhá životnost. Během používání bude docházet k největšímu namáhání právě na těchto součástech, proto je potřeba ho zkontrolovat a zvolit tomu odpovídající rozměry:

- Střížné části (střížníky a střížnice) – budou namáhané nejvíce. Nejprve je nutné určit minimální tloušťku. Nejjednodušší vzorec pro odhad tloušťky je dle Oehlera:

$$H_s = \sqrt[3]{F_{CS}} = \sqrt[3]{291\,262} = 66,3 \text{ mm} \quad (3.11)$$

Z výpočtu vyplývá, že tloušťka by měla být alespoň 66,3 mm. Vzhledem k tomu, že střížnice bude celou plochou ležet na základové desce tlusté 100 mm byla její tloušťka snížena na 50 mm, viz obr. 51.

Dále je potřeba zkontrolovat střížníky na vzpěr. Protože jsou vedené ve vodící desce, použije se vzorec upraveného podle Eulera pro vzpěrnou pevnost:

- Děrovací střížník:

$$l_{k1} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I_{1min}}{k_l \cdot \frac{F_{s1}}{2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 2,07 \cdot 10^5 \cdot 490,874}{1,5 \cdot \frac{95\,886}{2}}} = 133,2 \text{ mm} \quad (3.12)$$

kde: $I_{1min} = 490,874 \text{ mm}^4$, kvadratický moment průřezu děrovacího střížníku; spočteno v programu Autodesk Inventor Professional 2022
 $k_l = 1,5$, koeficient bezpečnosti pro kritickou délku střížníku

- Dělicí střížník:

$$l_{k2} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I_{2min}}{k_l \cdot F_{s2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 2,07 \cdot 10^5 \cdot 18\,322,56}{1,5 \cdot 195\,376}} = 403,3 \text{ mm} \quad (3.13)$$

kde: $I_{2min} = 490,874 \text{ mm}^4$, kvadratický moment průřezu dělicího střížníku; spočteno v programu Autodesk Inventor Professional 2022

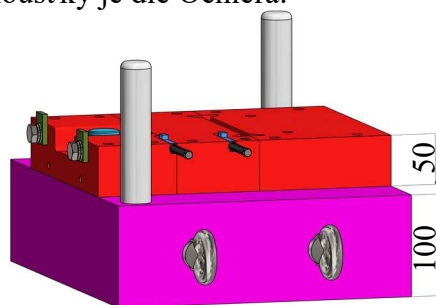
Z výsledků výpočtů vyplývá, že největší možná vzdálenost mezi kotevní a vodící deskou je 133,2 mm. Skutečná volná délka je jen 32 mm (obr. 52), z čehož je patrné, že ztráta vzpěrné stability nemůže nastat.

- Ohýbací části (ohybník a ohybnice) – by bylo vhodné upravit tak, aby výsledné odpružení bylo v dovolených tolerancích. Vzhledem k tomu, že i bez úprav je kritérium splněno, a ještě dojde ke kalibraci, nebyly zde žádné korekce realizovány.

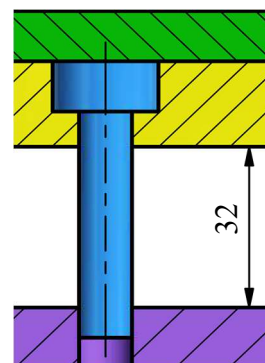
Další konstrukční uzel se nachází na dělicím střížníku, při jeho navrhování bylo nutné snížit potřebnou střížnou sílu zkosením, protože pokud by měl rovnou hranu, potřebná síla spočtená dle (2.16) by byla:

$$F_{s2} = n \cdot S_{S2} \cdot \tau_{ps} = 1,45 \cdot 959,7 \cdot 351 = 488\,439 \text{ N}$$

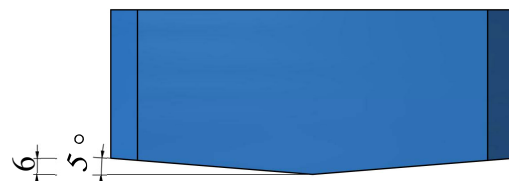
Díky zkosení o 5° dojde k prodloužení střížné dráhy na trojnásobek nominální hodnoty (obr. 53), čímž se sníží potřebná síla na dříve spočtenou hodnotu, tj. 195,4 kN.



Obr. 51 Tloušťka střížnice



Obr. 52 Volná délka střížníku



Obr. 53 Úkos na dělicím střížníku

4 ZÁVĚRY

V práci je řešena modernizace výroby plechového dílce sloužícího jako svorka. Součást je vyráběna v sérii přibližně 1300 ks týdně z ocelového plechu tloušťky 3 mm. Kvůli venkovnímu použití, je nutné zajistit její korozivzdornost, což zaručuje žárové zinkování hotového výrobku. Jako výchozí materiál byla zvolena ocel S235JR.

Z možných způsobů výroby byla použita nejefektivnější technologie, tj. stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji. To umožní zhotovení celé součásti při obsazení jen jednoho stroje a pracovníka.

Po zhodnocení technologičnosti byl spočten rozvinutý tvar dílce. Vzhledem k jeho obdélníkové podobě bylo rozmístění výstřižků na páse voleno tak, aby byla využita celá šíře polotovaru ve formě nastříhaných pásů z plechových tabulí. Využitelnost materiálu dosahuje 87,8 %, přičemž pro výrobu jedné série bude potřeba 10 tabulí.

Ze dvou navržených variant výroby byla vybrána nejvhodnější, v níž dojde ke zhotovení ve třech krocích, kde v prvním dojde k výrobě otvorů pro šrouby a oddělení rozvinutého tvaru od pásu, ve druhém dojde k posunu k ohybníku a ve třetím dojde k ohybu samotnému. K tomu je zapotřebí tvářecí síla o velikosti 618 kN. Následně byla určena poloha jejího působíště a byl zvolen tvářecí stroj LEN 63 C, se jmenovitou silou 630 kN, která je k výrobě plně dostačující.

Při konstrukci sdruženého nástroje byly použity normalizované díly dodávané firmou FIBRO, přičemž upnutí ke stolu zvoleného stroje bude realizováno pomocí přípravku.

Další postup bude spočívat ve výrobě nástroje, ověření funkčnosti během testovací série, jejího vyhodnocení a možné změně zvoleného rozmístění výstřižků na tabuli plechu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [44]

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 245 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4747-9.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. CNC ohraňování plechů - ohýbání plechu. *CNC Ohraňování plechů - ohýbání plechu* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.ohranovaniplech.cz/>
5. Výrobky z plechu. In: *POWERWIX* [online]. Dongguan PowerWinx Metal Industries [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <http://cz.powerwinxdiecasting.com/sheet-metal-fabrication-service/bending-process-service/metal-bending-products.html>
6. Specialista na hutní materiály. *Specialista na hutní materiály FERRUM s.r.o.* [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.ferrum-mb.cz/>
7. Jakosti. *PLECH SERVER* [online]. [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.i-plech.cz/pdf/jakosti.pdf>
8. Feron online - materiálové normy. *Feron online* [online]. Feron a.s., ©2017 [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://online.feron.cz/materialove-normy/>
9. *Materiálový list "3.1" EN 10204:2004*. Vratimovská 689/117 Ostrava-Kunčice, 2020, 3 s. Dokument číslo: 1000953874.
10. Montáž obrázková část. *Technika pro práci ve výškách Zarges.cz* [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: https://www.zarges.cz/data/blob-rename/product-application_pdf-20171114030625-9583-vystupove-montaz-obrazky.pdf
11. BŘINEK, Tomáš, zástupce vedoucího výroby [ústní sdělení]. Moravské Budějovice, 23.2.2021
12. LOJDA, Jiří, obchodní zástupce [ústní sdělení]. Moravské Budějovice, 19.1.2021
13. KAŠPAR, Jan. Laserové řezání: volba a vlastnosti asistenčních plynů. *Technický týdeník* [online]. 2014, 62(23) [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/laserove-rezani-volba-a-vlastnosti-asistencnich-plynu_28272.html
14. KOŘÁN, Pavel. Seriál na téma lasery. *LAO – lasery a optika* [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
15. KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie II část svařování. In: *Studijní opory* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, ÚST odbor svařování a povrchových úprav [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_specialni_metody_svarovani_kubicek.pdf

16. Highest Rated Cheap Plasma Cutters for 2021 – Our Honest Reviews. *Welding Insider - Welding and Cutting Equipment and Gear Reviews* [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://weldinginsider.com/best-cheap-plasma-cutter/>
17. CNC ohraňovací lis. *Specialista na hutní materiály FERRUM s.r.o.* [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <https://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovaci-lis/>
18. Ohraňovací lis Trumpf TruBend 5320. In: *Prodej použitých strojů - strojní a průmyslové vybavení* [online]. Praha: Exapro s.a.r.l, ©2004-2021 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/ohranovaci-lis-cncnc-trumpf-trubend-5320-p70809187/>
19. Vystřihování, děrování a vysekávání plechu. *Vystřihování, děrování a vysekávání plechu* [online]. Vystřihování, děrování a vysekávání plechu, ©2015 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.vystrihovani-derovani-vysekavani.cz/>
20. Single Head Punch vs. Turret Punch in Metal Fabrication. *Mainstay Manufacturing: CNC Machining Services & Metal Fabrication Indiana* [online]. [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://mainstaymfg.com/metal-punching-technology/>
21. TATÍČEK, František a Roman DVOŘÁK. Akademie tváření: Stříhání. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010, 13(6) [cit. 2021-01-21]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
22. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévárnictví – v příkladech* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2003 [cit. 2020-12-10]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologietvareniaslervanivprikladech/02Textproe-learning/3.STŘÍHÁNÍPLECHU.pdf
23. Postupový střížný nástroj. In: *BRENAS* [online]. Brno: eStránky.cz, ©2020 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://brenas.estranky.cz/fotoalbum/lisovaci-nastroje/postupove-nastroje/>
24. Postupový sdrúžený nástroj. In: *FaM Tools* [online]. Brno, ©2020 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
25. Technologie plošného tváření - stříhání. *Technologie II: Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
26. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983, 216 s.
27. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.
28. LIPKA, Ondřej. *Výroba držáku antény sdrúženým nástrojem* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/83123>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.
29. GAUTAM, Vijay, Pankaj SHARMA a Ravi D. KUMAR. Experimental and Numerical Studies on Spring back in U-Bending of 3-Ply Cladded Sheet Metal. *Materials Today: Proceedings*. 2018, 5(2), 4421-4430. ISSN 2214-7853. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.010>

30. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 171 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0404-3.
31. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971, 544 s.
32. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0401-9.
33. Lisovací nástroje. *Střední průmyslová škola Ostrava - Vítkovice* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT4_2-strihani_SPU.pdf
34. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
35. Výstředníkové lisy se značkou TOMA. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2001, 4(3) [cit. 2021-03-09] ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vystrednikove-lisy-se-znackou-toma>
36. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2015 [cit. 2021-03-14]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvareci-ch-stroju.pdf>
37. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: tvářecí stroje* [online]. Praha, 2007 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
38. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: tvářecí stroje* [online]. Brno, 2002 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
39. Katalog 2020. *Montan ocel* [online]. CMS & ANAWE. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.montanocel.cz/viewfile.asp?file=1474>
40. GAJDOŠ, František. Technologie tváření kovů. In: *Studijní opory* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
41. ŠMERAL TRNAVA. *Výstředníkové lisy: technický pasport*.
42. Výstředníkový lis ŠMERAL LEN 63C. In: *Prodej použitých strojů - strojní a průmyslové vybavení* [online]. Praha: Exapro s.a.r.l, ©2004-2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/smeral-len-63c-p90227032/>
43. ČSN 41 9436. *Ocel 19 436 chromová*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1969.
44. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	celková potřebná práce	[J]
A_{CO}	celková ohybová práce	[J]
A_{CS}	celková střižná práce	[J]
A_o	ohybová práce	[J]
A_s	střižná práce	[J]
a	vzdálenost konstrukčního prvku od ramene	[mm]
b	tloušťka materiálu	[mm]
b_1	tloušťka materiálu po ohnutí	[mm]
C_1	součinitel stírání	[-]
C_2	součinitel protlačování	[-]
C_u	součinitel zohledňující stav napjatosti a tření	[-]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
c_0	součinitel ohybu	[-]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
e	velikost přepážky	[mm]
F	celková potřebná síla	[N]
F_{CO}	celková ohybová síla	[N]
F_{CS}	celková střižná síla	[N]
F_b	síla beranu	[N]
F_i	velikost dílčí síly	[N]
F_k	kalibrační síla	[N]
F_o	ohybová síla	[N]
F_{pr}	protlačovací síla	[N]
$F_{př}$	přidržovací síla	[N]
F_s	střižná síla	[N]
F_{st}	stírací síla	[N]
H	délka ramene	[mm]
H_s	minimální tloušťka střižnice	[mm]
h	dráha nástroje	[mm]
I_{1min}	kvadratický moment průřezu děrovacího střižníku	[mm ⁴]
I_{2min}	kvadratický moment průřezu dělicího střižníku	[mm ⁴]
K	délka kroku	[mm]
K_A	součinitel hloubky vtlačení	[-]
k	koeficient zkosení	[-]
k_l	koeficient bezpečnosti pro kritickou délku střižníku	[-]
k_{β}	koeficient pro výpočet úhlu odpružení	[-]
l	délka rovného úseku	[mm]
l_0	délka oblouku ohnuté části	[mm]
l_c	celková délka	[mm]
l_h	délka střižné hrany	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
l_k	kritická délka střižníku	[mm]
l_u	vzdálenost mezi středy zaoblení ohybníku a ohybnice	[mm]
n	koeficient otupení	[-]
n_p	počet pásů z jedné tabule	[-]
n_v	počet výstřižků z jednoho pásu	[-]
n_v	počet výstřižků z jedné tabule/svitku plechu	[-]
R_0	poloměr ohybu	[mm]
R_e	mez kluzu v tahu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
S_s	střižná plocha	[mm ²]
S_T	plocha jedné tabule/svitku plechu	[mm ²]
S_v	plocha jednoho výstřižku	[mm ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
s_l	tloušťka materiálu po ohnutí	[mm]
t	velikost zkosení	[mm]
v	střižná vůle	[mm]
v_b	rychlost beranu	[m·s ⁻¹]
v_o	ohybová vůle	[mm]
X_T	vzdálenost působíště výslednice od počátku ve směru 'x'	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální osy	[-]
x_i	vzdálenost působíště dílčí síly od počátku ve směru 'x'	[mm]
Y_T	vzdálenost působíště výslednice od počátku ve směru 'y'	[mm]
y_i	vzdálenost působíště dílčí síly od počátku ve směru 'y'	[mm]
z	střižná mezera	[mm]
z_r	součinitel rozšíření	[-]
z_z	součinitel ztenčení	[-]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε_c	mezní přetvoření	[-]
η	využití polotovaru	[-]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
τ_{ps}	střižný odpor	[MPa]
ψ	součinitel plnosti diagramu	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením [4], [5].....	8
Obr. 2 Svorka – 3D model	9
Obr. 3 Výstupový žebřík s přímým vstupem – schéma [10]	9
Obr. 4 Použití svorky – detail	9
Obr. 5 Rozměry součásti.....	10
Obr. 6 Adige-SYS LT COMBO FIBRE	10
Obr. 7 Současný ohybový nástroj	10
Obr. 8 Řezání plazmovým paprskem [16]	11
Obr. 9 Trumpf TruBend 5320 [18]	11
Obr. 10 Vysekávací automat [21]	12
Obr. 11 Postupový střížný nástroj [23]	12
Obr. 12 Sdružený nástroj [24].....	13
Obr. 13 Fáze stříhu [3]	13
Obr. 14 Střížná plocha [3].....	14
Obr. 15 Ukázky střížných mezer [27].....	14
Obr. 16 Příklady rozmístění výstřížků [1]	15
Obr. 17 Vliv rozmístění výstřížků na využití materiálu [25].....	15
Obr. 18 Fáze ohybu [29]	16
Obr. 19 Schéma ohýbání [2]	16
Obr. 20 Schéma ohybu do tvaru 'U' [1]	17
Obr. 21 Schéma odpružení [1]	17
Obr. 22 Příklady úprav ke snížení odpružení [32].....	18
Obr. 23 Průběh střížné síly [3].....	18
Obr. 24 Ukázky zkosených břitů [26].....	19
Obr. 25 Průběh ohybové síly [1].....	20
Obr. 26 Výpočet těžiště střížných sil [27]	21
Obr. 27 3D model sdruženého nástroje [28].....	22
Obr. 28 Silový průběh výstředníkového lisu [37].....	23
Obr. 29 Velikost přepážek při stříhání [1]	24
Obr. 30 Minimální délka ramene výlisku [1]	24
Obr. 31 Vzdálenost konstrukčních prvků od kraje [1].....	24
Obr. 32 3D model svorky	25
Obr. 33 Technologičnost ohybů.....	25
Obr. 34 Rozměry pro výpočet rozvinu	26
Obr. 35 Příčné uspořádání	27
Obr. 36 Posun příčného uspořádání	27
Obr. 37 Uspořádání výstřížků	27
Obr. 38 Výrobní postup – 1. varianta	28
Obr. 39 Výrobní postup – 2. varianta	29
Obr. 40 Geometrie z-ohybu	29
Obr. 41 Geometrie ohybu ramen	29
Obr. 42 Geometrie ohybu	31

Obr. 43 Výstředníkový lis LEN 63 C [42].....	32
Obr. 44 Těžiště sil	33
Obr. 45 Výrobní postup	33
Obr. 46 3D model nástroje.....	34
Obr. 47 Horní a spodní část nástroje.....	34
Obr. 48 Dělená střížnice	34
Obr. 49 Uložení střížnic a ohybnice	34
Obr. 50 Uchycení pracovních částí nástroje	34
Obr. 51 Tloušťka střížnice	35
Obr. 52 Volná délka střížníku.....	35
Obr. 53 Úkos na dělicím střížníku	35

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli S235JR [9].	9
Tab. 2 Chemické složení oceli S235JR [9].	9
Tab. 3 Velikost střížné vůle [26].	14
Tab. 4 Hodnoty posunutí neutrální osy [1].	17
Tab. 5 Hodnoty koeficientu k_{β} [32].	17
Tab. 6 Hodnoty koeficientu zkosení [26].	19
Tab. 7 Hodnoty součinitele stírání [26].	19
Tab. 8 Hodnoty součinitele hloubky vtlačení [26].	20
Tab. 9 Technické parametry lisu LEN 63 C [41].	32

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Materiálový list oceli S235JR [9]	
Příloha 2 Materiály pro části lisovacích nástrojů a jejich tepelné zpracování [32]	
Příloha 3 Technický pasport lisu LEN 63 C [41]	

SEZNAM VÝKRESŮ

SDRUŽENÝ NÁSTROJ	1-BP-209148-00
SDRUŽENÝ NÁSTROJ - KUSOVNÍK	4-BP-209148-00-K
SVORKA	4-BP-209148-1

A01 Liberty Ostrava a.s. Vratimovská 689/117 719 00 Ostrava-Kunčice Česká republika TEL.: +420-595682303	A02 INSPECTION CERTIFICATE "3.1" EN 10204:2004	Z02 Ostrava, 13.05.2020 A03 Document No. 1000953874	A04 LIBERTY
A07 Purchaser's Order No. and/or Item No. OV201260			
A08 Manufacturer's Job No. 1661 68948 0 0	A10 Delivery Advise No. 8101158286/ 000010	A06 Customer/consignee FERRUM S.R.O. CHELČICKÉHO 260 676 02 MORAVSKÉ BUDEJOVICE Czech Republic	
A09 Supplier's Order No. 3100432500/50			
Product, Dimensions, Steel designation, Condition, Terms of Delivery, Any supplementary requirements: B01,B02,B03,B04,B05,B09 :Hot rolled plain steel plate in cut length - heavy with mill edges;Dimension Q1500 X 3.00;Dimension Standard (1.) EN10051:2010;Steel grade S235JR+N;Steel standard EN 10025-2:2019;Length [mm] 3.000,0 mm			
B13	Actual weight	23.218,000 KG	
C71 Chemical Analysis of Liquid Alloy (%)			
B07 Heat No.	Test type	C70	C [%]
			MN [%]
			SI [%]
			P [%]
			S [%]
			N [%]
			CU [%]
			NI [%]
			CR [%]
			MO [%]
			V [%]
			AL [%]
			B [%]
			TI [%]
			NB [%]
			B08
			Pieces
			Bunches
26720E	H	0	>0 <0.17
26991E	H	0	>0 <0.17
B07 Heat No.	Test type	C70	AS [%]
			SN [%]
			CA [%]
			CEV [%]
26720E	H	0	0.003
26991E	H	0	0.003
1 Continuation see Attachment			

5 Test results		2 Tensile test acc.to EN ISO 6892-1:2017			
Heat No.	C00 Specimen No.	C11 Yield or proof limit	C12 Tensile strength	C57 Ratio Re/Rm	C13 Elongation A5
	C04 Regulation	C05 Coil ID No.	C02	>235	>360 <510
26720E	20625855	1120150689	1	335	430
26991E	20628364	1120170344	1	345	434
1 Continuation see Attachment					

6 Bend test according to EN ISO 7438:2016	
C52	Bend Test
C53	Rebend test

C93 The mass activity ionizing radiation value in liquid alloy analysis does not exceed 100 Bq/kg. Z01 The Manufacturer confirms that such Product is in duly compliance with Order's requirements, the Purchase Contract's requirements and that it has been tested in duly compliance with technical requirements	 1020 06 LO-F-ST-2/01-CPR-19-1 EN 10025-1
D01 The inspection and the test were carried out on the delivered product or on a product test unit.	Z02, Z03,A05 LIBERTYLiberty Ostrava a.s. Issuer of inspection document Vratimovská 689/117 719 00 Ostrava-Kunčice IČ: 45193258

WORKS INSPEKTOR
IDENTIFICATION No. 1
Bc. Jakub Bialek
PHONE: +420 595686046
 replaces seal and signature
 Issued by: Sylvie Tkáčová

Část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
Vodící stojánky – desky, sloupky, pouzdra	42 2456, 42 2661, 11 500, 12 061, 14 220	Cementováno do hloubky 0,5 mm Kaleno na 60 ÷ 62 HRC Popuštěno
Stopky	11 600	-
Střižníky	19 191, 19 312, 19 436, 19 437, 19 421	Kaleno na 61 ÷ 63 HRC Popuštěno
Střižnice	19 191, 19 312, 19 436, 19 437	Kaleno na 60 ÷ 62 HRC Popuštěno
Dorazy	12 061, 19 312, 19 191, 19 436, 19 437	Kaleno na 56 ± 2 HRC Popuštěno
Pouzdra ke střižníkům	19 312	Kaleno na 52 ÷ 56 HRC
Vodící, kotevní a upínací desky	11 500, 12 050	-
Upínky	11 500	-
Základové desky stříhadel bez vedení	42 2424, 11 375	-
Stírače	12 061, 19 191	-
Vodící lišty	11 600, 14 220	Cementováno Kaleno na 60 ÷ 62 HRC Popuštěno
Palce k vodícím lištám	14 220	Cementováno Kaleno na 60 ÷ 62 HRC Popuštěno
Hledáčky	14 220, 19 191, 19 421	Kaleno na 56 ÷ 60 HRC Popuštěno
Ohybník, ohybnice	19 191, 19 312, 19 436, 19 437	Kaleno na 55 ÷ 60 HRC Popuštěno
Tažník, tažnice	12 061, 19 191, 19 436, 19 437, 42 2456	Kaleno na 58 ÷ 63 HRC Popuštěno
Základové desky tažidel	42 2456, 42 2661	-
Přidržovače tažidel	19 191, 19 436, 12 061, 42 2456	Kaleno na 61 ÷ 63 HRC Popuštěno
Tělesa přidržovačů	42 2456	-
Funkční části razících, lemovacích a rovnacích nástrojů	19 191, 19 312, 19 436, 19 437, 19 614, 19 630	Kaleno na 58 ÷ 62 HRC Popuštěno
Pružiny	12 060, 12 090, 14 260	-

TAB. 1

6.1 PRACOVNÉ A TECHNICKÉ PARAMETRE

VELIKOST LISU PREVEDENIE		10			40			63			JEDNOTKA
		R	P	C	R	P	C	R	P	C	
POČET ZDVIHOV		180	78	$\frac{80}{160}$	140	70	$\frac{70}{140}$	130	65	$\frac{65}{130}$	1/min.
VYUŽITELNÝ POČET JEDNOTLIVÝCH ZDVIHOV	PRI USTÁLENEJ TEPLOTE	45	60	$\frac{60}{45}$	45	50	$\frac{50}{45}$	45	50	$\frac{50}{45}$	1/min.
	SPOJKY-BRZDY										
	PRI MAX. ODOBRATÍ TVAR. PRACE	45	40	$\frac{40}{45}$	45	35	$\frac{35}{45}$	45	32	$\frac{32}{45}$	1/min.
	JEDN. ZDVIHY	2	3,2	2-3,2	4	6,4	4-6,4	5	7	5-7	mm
HRUBKA PLECHU	TRVALÝ CHOD	1	1,6	1-1,6	2	3,2	2-3,2	2,5	3,5	2,5-3,5	
	JEDN. ZDVIHY	100	160	100-160	800	1250	800-1250	1500	2200	1500-2200	J
MAXIM. PRÁCA		50	80	50-80	400	630	400-630	750	1100	750-1100	J

ELEKTROMOTOR	VÝKON	1,5	1,1	1,1/1,5	4	3	3/4	5,5	4	4/7,5	kW
	OTÁČKY	1430	700	720/1430	1440	715	700/1450	1450	715	730/1440	1/min.
	SIEŤOVÉ ***	380V, 50Hz									
NAPÁTIÉ	OVĽADACIE	110V, 50Hz									
	OSVETLENIE	24V, 50Hz									
	PREV. TLAK	0,6									
TLÁKOVÝ VZDUCH	PRAC. TLAK	MIN. 0,35		MIN. 0,4							
	SPOTREBA *	MAX. 0,004		MAX. 0,006		MAX. 0,009					
	PRIPOJKA	G 1/2"		G 1/2		G 1/2					
BRZDNÁ DRÁHA **	UHOL DOBEHU										°
	DOBEHOVÝ ČAS										ms
	HLUČNOSŤ MAXIM.	POMALÝ CHOD: 100		RÝCHLY CHOD: 100		(S POUŽ. TECHNOL.)					

* NASATÉHO VZDUCHU NA 1 ZDVIH

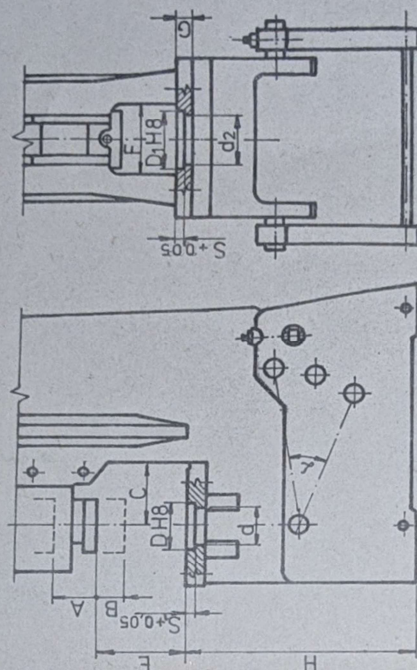
** HODNOTY PRI ZRIADENEJ SPOJKE - BRZDE A PRI PREDPISANOM PRAC. TLAKU VZDUCHU

*** NORMÁLNE PREVEDENIE

TAB. 2

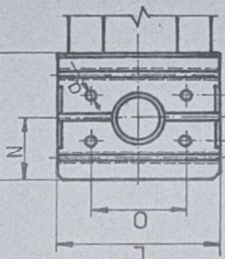
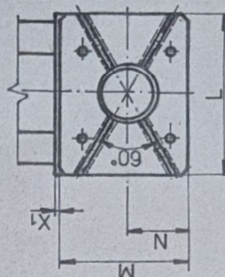
6.2 PRACOVNÉ A UPÍNACIE MOŽNOSTI LISU

VEĽKOSŤ LISU	OZN.	10	40	63	ROZM.
MENOVITÁ SILA LISU		100	400	630	kN
STAVITEĽNOSŤ ZDVIHU	A	6-65	8-95	10-105	
STAVITEĽNOSŤ BARANA	B	45	60	70	
VYLOŽENIE	C	160	265	315	
ZOVRETIE	E	225	295	335	
PRIECHOD	F	180	300	355	
VÝŠKA STOLA	H	800	800	800	
NAKLOPENIE STOJANU	∠	30°	30°	25°	
DĹŽKA	L	450	660	800	
ŠÍRKA	K	320	530	630	
	D	135	225	280	
	d	120	200	250	
	S	36	45	45	
	N	160	265	315	
	O	240	370	350	
	P	70	120	300	
	a	M12	M 20	M 24	
	J	-	360	400	
	X ₁	15	15	20	
	A ₁	170	170	170	
	B ₁	200	200	200	
	C ₁	50	50	50	
	E ₁ , F ₁	60	60	60	
	G ₁	40	40	40	
	q ₁	M12	M12	M12	
OSTATNÉ ROZMERY					

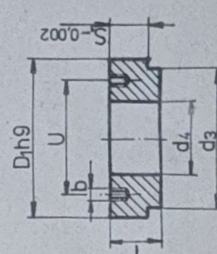


STOLOVÁ DOSKA

STOL



VLOŽKA STOLOVEJ DOSKY



VLOŽKA STOLA

